

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

FERNANDO EDUARDO DA SILVA

RECURSO DE TECNOLOGIA ASSISTIVA VESTÍVEL PARA RASTREAMENTO DO
OLHAR

CURITIBA PR

2019

FERNANDO EDUARDO DA SILVA

RECURSO DE TECNOLOGIA ASSISTIVA VESTÍVEL PARA RASTREAMENTO DO
OLHAR

Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação em
Informática, Setor de Ciências Exatas, da Universidade
Federal do Paraná, como requisito parcial á obtenção
do título de Mestre em Informática..

Área de concentração: *Ciência da Computação*.

Orientador: Prof. Dr. Luciano Silva.

CURITIBA PR

2019

Catálogo na Fonte: Sistema de Bibliotecas, UFPR
Biblioteca de Ciência e Tecnologia

S586r Silva, Fernando Eduardo da

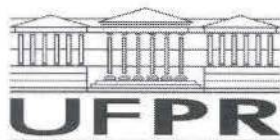
Recurso de tecnologia assistiva vestível para rastreamento do olhar
[Recurso eletrônico] / Fernando Eduardo da Silva – Curitiba, 2019.

Dissertação (mestrado) – Programa Pós-graduação em Informática,
Setor de Ciências Exatas, da Universidade Federal do Paraná.
Orientador: Prof. Dr. Luciano Silva

1. Pessoas com deficiência. 2. Comunicação. 3. Computador. I.
Universidade Federal do Paraná. II. Silva, Luciano III. Título.

CDD 371.9

Bibliotecária: Vilma Machado CRB-9/1563



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SETOR SETOR DE CIÊNCIAS EXATAS
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO INFORMÁTICA -
40001016034P5

TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em INFORMÁTICA da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado de **FERNANDO EDUARDO DA SILVA** intitulada: **RECURSO DE TECNOLOGIA ASSISTIVA VESTÍVEL PARA RASTREAMENTO DO OLHAR**, após terem inquirido o aluno e realizado a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO no rito de defesa.

A outorga do título de mestre está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

Curitiba, 08 de Fevereiro de 2019.

LUCIANO SILVA

Presidente da Banca Examinadora (UFPR)

MARIA LUCIA LEITE RIBEIRO OKIMOTO

Avaliador Externo (UFPR)

OLGA REGINA PEREIRA BELLON

Avaliador Interno (UFPR)



Agradecimentos

Agradeço a Deus primeiramente por possibilitar que eu concluísse esta etapa da minha evolução profissional e por ser meu guia em momentos difíceis.

Aos meus pais, Selma Aparecida e Luiz Ribeiro, por todo o suporte, amor, apoio e esforço dedicado para a realização desse meu objetivo.

À minha irmã Giovana Cristina pelo carinho e ao meu irmão Flávio Henrique da Silva por estar ao meu lado nos momentos mais difíceis e felizes também. Me apoiando da melhor forma possível.

À minha noiva Thais Aline Pires por estar ao meu lado na reta final, pelo carinho, amor, companheirismo e pela paciência, pois foram vários finais de semana de ausência.

Aos meus amigos que o mestrado proporcionou, Jeshir Heliel Rodrigues, Antônio Paes, Raphael Ksiaskiewicz Czovny, Giovani Bertolla Sampaio e Thiago Pradi. Cada um teve fundamental contribuição para o desenvolvimento do meu trabalho.

À minha segunda família “Veiga”, “Duarte” e “Souza” que tive a honra de compartilhar toda a minha trajetória e como digo são a minha segunda família, na qual tenho um carinho muito especial.

Ao meu professor orientador Luciano Silva, pela idealização do projeto, pelos ensinamentos da conduta profissional, pela confiança, e pela oportunidade de desenvolvimento do projeto.

À banca avaliadora, composta por Olga Bellon, e Maria Lúcia Okimoto, que contribuiu com ótimas ideias, correções, e orientações.

Aos professores Giuliano Estevam e Marco Antônio Fernandes que foram fundamentais no processo inicial de ingresso do mestrado.

À ONG Pequeno Cotelengo e a Escola Vivian Marçal por fornecer o espaço e os profissionais para o desenvolvimento do experimento com o público-alvo, que por sua vez foram muito gentis e atenciosos em aceitar o convite para participarem dos testes.

RESUMO

Pessoas com deficiência têm dificuldade de interagir com o ambiente que vivem, devido as limitações ocasionadas pela deficiência. Atividades simples como ligar uma TV ou qualquer outro equipamento, de forma independente, pode ser impossível para esse grupo de pessoas com deficiência motora. Este trabalho apresenta um dispositivo de rastreamento ocular de baixo custo e uma ferramenta computacional para a navegação na internet por meio de sinais biológicos. Os usuários em potencial para utilização do dispositivo são pessoas com deficiências motoras leves e graves, que desejam adquirir autonomia na navegação web com a interação da ferramenta baseada no conceito de Comunicação Aumentativa e Alternativa (CAA). O sinal biológico utilizado é a Videooculografia (VOG), possibilitando a interação dos movimentos dos olhos, no qual foi obtido o rastreamento das fixações do olhar. Um ponto importante deste trabalho é a utilização de equipamentos convencionais de baixo custo e impressão 3D para a confecção da estrutura do dispositivo de rastreamento ocular, fácil manuseio e de rápida adaptação. No primeiro teste, o objetivo foi avaliar a adaptação do usuário com o dispositivo por meio do processo de calibração, comparando o tempo de finalização do processo determinado. No segundo teste, o objetivo foi avaliar a performance de cada usuário ao utilizar o teclado virtual da ferramenta computacional na digitação de uma palavra. O terceiro e último teste, visa avaliar a usabilidade (SUS) diante da perspectiva do usuário, por meio da ferramenta computacional classificada como um sistema Comunicação Aumentativa e Alternativa (CAA). Os testes foram realizados por 16 participantes, sendo 8 com deficiência motora e 8 sem deficiência. Com relação ao resultado de usabilidade, observou que os participantes obtiveram resultados dentro do esperado ou superior, logo na primeira utilização. A acuracidade do resultado pode ser melhorada à medida que o usuário passe a utilizar o dispositivo de rastreamento ocular com mais frequência.

Palavras-chave: Rastreamento do Olhar, Comunicação Aumentativa e Alternativa, Interface Humano-Computador.

ABSTRACT

People with disabilities have difficulty interacting with the environment they live, due to the limitations caused by the disability. Simple activities like connecting a TV or any other equipment, independently, may be impossible for this group of people with motor disabilities. This work presents a low cost eyepiece tracking device and computational tool for internet navigation through biological signals. Potential users to use the device are people with mild and severe motor impairments who wish to gain autonomy in web browsing with the tool interaction based on the concept of Incremental and Alternative Communication (CAA). The biological sign used is VOG, allowing the interaction of the eye movements, in which the tracking of the eye fixations was obtained. An important point of this work is the use of conventional equipment of low cost and 3D printing for the construction of the structure of the device of eye tracking, easy handling and fast adaptation. In the first test, the objective was to evaluate the adaptation of the user to the device through the calibration process, comparing the end time of the determined process. In the second test, the purpose was to evaluate the performance of each user when using the virtual keyboard of the computational tool when typing a word. The third and final test should aim to evaluate the usability (SUS) of the eye tracking device from the user's point of view, using the computational tool classified as an Incremental and Alternative Communication (CAA) system. The tests were performed by 16 participants, of whom 8 had motor deficiency and 8 had no disability. Regarding the usability result, it was observed that the participants obtained an expected or superior result at the first use. This result can still be improved as the user uses the eye tracking device more often.

Keywords: Eye Tracking, Augmentative and Alternative Communication, Human-Computer Interaction..

Lista de Figuras

2.1	Sistema multimodal para interação com dispositivos de assistência e comunicação por meio do rastreamento do olhar	14
3.1	Primeiro dispositivo de rastreamento do olhar	16
3.2	Exemplo de rastreamento do olhar por meio da eletro oculografia.	17
3.3	Modelo de lente de contato de cobre para rastreamento do olhar	17
3.4	Modelo do globo ocular em 3D	19
4.1	Modelagem da estrutura do dispositivo.	20
4.2	Primeiro protótipo impresso em filamento PLA.	21
4.3	Dispositivo impresso em filamento PLA.. . . .	21
4.4	Novo design na região do nariz.	22
4.5	Nova estrutura do dispositivo de rastreamento ocular.	23
4.6	Usuário utilizando a nova estrutura do dispositivo.. . . .	24
4.7	Modelos de impressora 3D.. . . .	25
4.8	Exemplo de filamento de PLA.	25
4.9	Led Emitter IR 860nm - SFH 4050-Z	26
4.10	Câmera Logitech HD C525 sem sua estrutura de plástico, acoplada na estrutura do dispositivo de rastreamento do olhar.	26
4.11	Câmera LifeCam HD - 6000 sem sua estrutura de plástico.	27
4.12	Sequências das modificações feita na câmera LifeCam HD - 600	28
4.13	Câmera com os leds IR acoplada na estrutura do dispositivo de rastreamento do olhar	28
4.14	Imagem do olho em 2D.	29
4.15	Deteção da borda da região da pupila.. . . .	30
4.16	Calibração - demonstração dos círculos na tela.	31
4.17	Pipeline - Etapa 1	31
4.18	Pipeline - Etapa 2	32
4.19	Software <i>Pupil Player</i>	33
4.20	Exemplo de análise de dados por <i>Heatmap</i>	34
4.21	Tela inicial da aplicação.	34
4.22	Tela de cadastro.	35
4.23	Diagrama do processo de latência sobre o objeto.	35
4.24	Região de interesse pré - selecionada.	36

4.25	Região de interesse selecionada.	36
4.26	Confirmação da seleção da região desejada.	36
4.27	Teclado virtual ativado pelo mecanismo de tempo de latência.	37
5.1	Diagrama de usabilidade	39
5.2	Sala cedida pela Escola Vivian Marçal.	41
5.3	Sala cedida pela ONG Pequeno Cotelengo.	42
6.1	Demonstração da posição do monitor durante o teste.	45
6.2	Demonstração da posição do notebook durante o teste.	46
6.3	Comparativo dos tempos médios para execução do processo de calibração.. . . .	47
6.4	Participante digitando no teclado virtual, por meio rastreamento ocular.	47
6.5	Comparativo dos tempos médios entre os participantes de digitação no teclado virtual.. . . .	48
6.6	Resultados do SUS.. . . .	49
7.1	Exemplo: Mobile Eye Tracking Glasses da empresa Tobii https://www.tobiipro.com/product-listing/tobii-pro-glasses-2/	51
A.1	Comprovante de Recepção.. . . .	58
A.2	Lista de tarefas	59
A.3	Questionaria de Usabilidade - SUS.	65
A.4	Questionaria de Usabilidade - SUS.	66

Lista de acrônimos

IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
TA	Tecnologia Assistiva
3D	Três Dimensões
2D	Duas Dimensões
UFPR	Universidade Federal do Paraná
CAT	Comitê de Ajudas Técnicas
CAA	Comunicação Aumentativa e Alternativa
EOG	Eletrooculografia
VOG	Videooculografia
FOG	Fotooculografia
IR	Infra Vermelho
ABS	Acrylonitrile Butadiene Styrene (Acrilonitrila Butadieno Estireno)
PLA	Poly Lactic Acid (Ácido Polilático)
SUS	System Usability Scale
TCLE	Termo de Consentimento Livre e Esclarecido
IHC	Interface Humano-Computador
DINF	Departamento de Informática
PPGINF	Programa de Pós-Graduação em Informática
UFPR	Universidade Federal do Paraná

SUMÁRIO

1	Introdução	11
1.1	Objetivos e Metas	11
2	Fundamentação Teórica.	13
2.1	Tecnologia assistiva	13
2.2	Comunicação Aumentativa e Alternativa	13
2.3	Rastreamento do Olhar	14
3	Trabalhos Relacionados	16
4	Materiais e Métodos	20
4.1	Protótipos	20
4.1.1	Protótipo I.	20
4.1.2	Protótipo II	22
4.2	Desenvolvimento do Dispositivo de Rastreamento do Olhar	24
4.2.1	Estrutura.	24
4.2.2	Especificação dos Componentes Eletrônicos	25
4.2.3	Modificação realizada na câmera Logitech HD WebCam C525	26
4.2.4	Modificações realizadas na câmera LifeCam HD-6000	27
4.3	Funcionamento do software de rastreamento do olhar	28
4.3.1	Processo de detecção da pupila	28
4.4	Interface Gráfica	33
4.4.1	Tecnologia.	33
4.4.2	Funcionalidades da ferramenta	34
5	Testes de Usabilidade	38
5.1	Conceito de Usabilidade	38
5.2	Escala de usabilidade do sistema (SUS)	39
5.3	Participantes.	40
5.3.1	ONG Pequeno Cotelengo Paranaense e Escola de Educação Básica Vivian Marçal	40
5.3.2	Equipamento e Local	40
5.4	Considerações Finais	43
6	Resultados	44
6.1	Dados Coletados	44
6.1.1	Processo de Calibração	44
6.1.2	Digitação no teclado virtual.	47

6.1.3	Navegação Web	48
6.2	Considerações Finais	49
7	Discussão	50
7.1	Dados de usabilidade	50
7.2	Dados de execução das atividades	50
7.3	Formulários SUS	51
7.4	Considerações Finais	51
8	Conclusão	52
	Referências	53
	Apêndice A: Anexos	58
A.1	Comprovante do Envio do Projeto	58
A.2	Lista de tarefas	59
A.3	Termo de consentimento - ONG Pequeno Cotoengo Paranaense	59
A.4	Termo de consentimento - Escola Educação Básica Vivian Marçal - Modalidade de Educação Especial	62
A.5	Questionário : Escala de Usabilidade de Sistema(System Usability - SUS adaptado	65
A.6	Listagem de software	66

1 Introdução

O número de pessoas com algum tipo de deficiência motora vêm aumentando significativamente com o decorrer dos anos. Dados do último Censo Brasileiro, realizado em 2010, apontam que cerca de 45 milhões de pessoas (23,91 por cento da população) declararam possuir algum tipo de deficiência tais como: visual, auditiva, motora, mental ou intelectual. Pessoas com diagnósticos como paralisia cerebral, distrofias musculares, esclerose múltipla, esclerose lateral amiotrófica, entre outras, frequentemente apresentam problemas de comunicação, comprometendo o exercício da autonomia, a interação com a comunidade de uma forma geral e com seus familiares ou cuidadores [45]. Devido às dificuldades inerentes da deficiência os recursos de tecnologia assistiva (TA), visam a desenvolver instrumentos capazes de melhorar a qualidade de vida dos deficientes. O objetivo desta pesquisa é auxiliar em atividades diárias e capacitar, a partir de treinamento, a realização de tarefas nas quais os indivíduos apresentam dificuldades. Desta forma, novas ferramentas computacionais estão sendo desenvolvidas com a finalidade de melhorar a qualidade de vida de pessoas com deficiência. Com isso, um contexto que vem ganhando destaque é o desenvolvimento de aplicações interativas que utilizavam a técnica de rastreamento do olhar, conforme os trabalhos Duchowski *et al.* [15] e de Morimoto *et al.*[41] que apresentam desenvolvimentos de aplicações nos respectivos domínios: neurociência, psicologia, marketing, comunicação e entre outras. Desta forma, o presente trabalho, visa disponibilizar um dispositivo de rastreamento do olhar de baixo custo, montado na cabeça, conhecido na literatura pelo termo em inglês "*Head Mounted*". Segundo Kim *et al.*[31] dispositivos "*Head Mounted*" permitem analisar com mais detalhes o comportamento dos indivíduos no mundo real e essa análise pode ser feita em real *time*, graças aos avanços tecnológicos que proporcionam componentes eletrônicos menores, porém com uma performance melhor.

Diante dos avanços no estado da arte, é possível afirmar que o trabalho de Duchowski [16] é referência na área de rastreamento ocular, apresentando uma explicação detalhada da técnica, com base na estrutura do olho humano, métodos para a detecção da íris e pupila, tipos de movimentos oculares, métricas para análise e configurações de softwares e hardware utilizados por essa técnica.

Já, o trabalho de Holmqvist *et al.* [23] é referência na análise de dados obtidos pelo rastreamento do olhar, por meio de métricas específicas tais como : fixação, saccades, scanpath e entre outras, onde são demonstradas as características cada métrica, por meio de gráficos e pelos seus respectivos estímulos visuais. Vale ressaltar que o trabalho de Kenneth *et al.*[23] é baseado no livro 'Eye tracking methodology' [16] que abrange todo o conceito da técnica de rastreamento ocular.

1.1 Objetivos e Metas

O objetivo geral desse trabalho é desenvolver um dispositivo de rastreamento do olhar de baixo custo. Selecionar equipamentos eletrônicos de baixo custo para compor o sistema de captura

de movimentos dos olhos/rastreamento ocular, por meio de equipamentos facilmente acessíveis. Os movimentos dos olhos serão capturados mediante o uso de técnicas de rastreamento do olhar disponíveis, tais como: detecção da pupila, por meio da reflexão ocasionada pela iluminação infravermelha, segmentação da região do globo ocular por detectores de bordas [10] e por extração de características dos olhos. Por fim, desenvolver um dispositivo para associar a uma interface gráfica para a realização de atividades de leitura de informações.

Para a avaliação do dispositivo foi realizada uma parceria entre profissionais da Escola de Educação Básica Vivian Marçal na Modalidade de Educação Especial e a ONG Pequeno Cotelengo Paranaense ambas de Curitiba – Paraná.

2 Fundamentação Teórica

Neste capítulo são apresentados os fundamentos teóricos em três tópicos necessários para o desenvolvimento do dispositivo de rastreamento do olhar de baixo custo: tecnologia assistiva, comunicação aumentativa e alternativa e rastreamento do olhar. Na seção 2.1 apresentará a definição de tecnologia assistiva, enquanto na Seção 2.2 será dissertado sobre comunicação aumentativa e alternativa, já na Seção 2.3 haverá um aprofundamento referente à técnica de rastreamento do olhar.

2.1 Tecnologia assistiva

Na Ata da Reunião III de Abril de 2007 [Comitê de Ajudas Técnicas, 2007], o Comitê de Ajudas Técnicas (CAT) da Secretaria Especial dos Direitos Humanos da Presidência da República propôs a seguinte denominação para o termo tecnologia assistiva no Brasil:

“Tecnologia Assistiva é uma área do conhecimento, de características interdisciplinar, que engloba produtos, recursos, metodologias, estratégias, práticas e serviços que objetivam promover a funcionalidade, relacionada à atividade e participação de pessoas com deficiência, incapacidades ou mobilidade reduzida, visando sua autonomia, independência, qualidade de vida e inclusão social.”

Os recursos de tecnologia assistiva visam desenvolver instrumentos capazes de melhorar a qualidade de vida de pessoas com deficiência. O principal objetivo dessa tecnologia é auxiliar em atividades diárias e capacitar a realização de tarefas nas quais os indivíduos apresentam dificuldades. A Figura 2.1 apresenta um sistema assistivo multimodal com várias funcionalidades para controlar ambientes inteligentes [5] por meio do rastreamento do olhar. O sistema assistivo multimodal permite ao portador de deficiência motora a autonomia na realização de determinadas tarefas, tais como: realizar uma ligação por meio de um smartphone, ligar um ventilador ou até mesmo mover uma cadeira de rodas. Na interface do sistema foram criados ícones, que serão ativados com fixação do olhar na área de interesse. A fixação do olhar é obtida por meio de um dispositivo de rastreamento do olhar demonstrado na Figura 2.1, fabricado pela empresa dinamarquesa *The Eye Tribe*, que foi recentemente adquirida pela empresa *Facebook*.

2.2 Comunicação Aumentativa e Alternativa

O termo Comunicação Aumentativa e Alternativa (CAA) foi traduzido do inglês *Augmentative and Alternative Communication (AAC)*, além do termo resumido "Comunicação Alternativa", no Brasil também são utilizadas as terminologias "Comunicação Ampliada e Alternativa" e "Comunicação Suplementar e Alternativa". A Comunicação Aumentativa e



Figura 2.1: Sistema multimodal para interação com dispositivos de assistência e comunicação por meio do rastreamento do olhar. [5]

Alternativa referem-se a todas as formas de comunicação que possam complementar, suplementar determinada deficiência [3].

Dispositivos CAA variam de baixa tecnologia (uso de cartões com fotos e placas de comunicação) e dispositivos de alta tecnologia que utilizam placas de comunicação eletrônica, sintetizadores de voz computadorizada, softwares específicos para determinada deficiência, entre outras.

Atualmente, encontram-se disponíveis centenas de aplicações de CAA no mercado, a um custo consideravelmente baixo quando comparado com sistemas de comunicação tradicionais. Pode-se mencionar os dispositivos *Dynavox* e *TouchSpeak*, que são sistemas CAA baseados em símbolos, para que possam ser adquiridos como pacotes de software para tablet, laptop ou desktop para auxiliarem na comunicação, por meio de construção de palavras e frases e reprodução de áudio.

No trabalho de Samit *et al.* [4] destaca que cada sistema CAA é caracterizado por um layout e um método de entrada de dados. Por exemplo o modelo de previsão de desempenho de desenvolvimento para avaliar automaticamente os teclados de digitalização virtual.

2.3 Rastreamento do Olhar

O rastreamento do olhar consiste em uma técnica que tem objetivo de obter as informações correspondentes à direção e fixação do olhar de um indivíduo perante um estímulo visual [22]. O trabalho de Dan Witzner *et al.* [22] apresenta o progresso nos últimos 30 anos, referente a pesquisa sobre rastreamento do olhar, onde são destacados os desafios, tais como : oclusão da região dos olhos, variação na iluminação, qualidade da imagem e entre outros. Diante desse trabalho pode-se destacar uma revisão dos métodos para a detecção da pupila ou da íris por meio de propriedades geométricas e características dos olhos. Para isso, é necessário um dispositivo de rastreamento do olhar (técnica conhecida pela literatura pelo termo em inglês, *Eye Tracking*), que permite calcular e analisar a movimentação dos olhos, em relação a uma determinada área de interesse, por meio da detecção da íris ou pupila.

Atualmente, encontram-se disponíveis vários dispositivos de rastreamento do olhar comerciais, tais como : *Tobii Eye Tracker 4C*, *Tobii EyeX*, *Tobii Pro Glasses 2*, *Pupil Headsets* e

entre outros modelos. A análise dos dados obtidos pelo rastreamento do olhar tem a finalidade de calcular a estimativa da direção do olhar de uma forma não invasiva sobre um área de interesse (AOI).

3 Trabalhos Relacionados

Os trabalhos citados nesta seção visam à análise de técnicas, algoritmos e métodos de rastreamento do olhar existentes para o desenvolvimento do dispositivo e aplicações interativas que utilizam os movimentos dos olhos.

Os autores Dodge e Cline [14], apresentam o primeiro dispositivo de rastreamento do olhar não invasivo, que utiliza a luz refletida pela córnea por meio de uma placa fotográfica, conforme a Figura 3.1, onde era possível obter a direção horizontal do movimento dos olhos, permitindo a análise da direção diante de um estímulo visual.

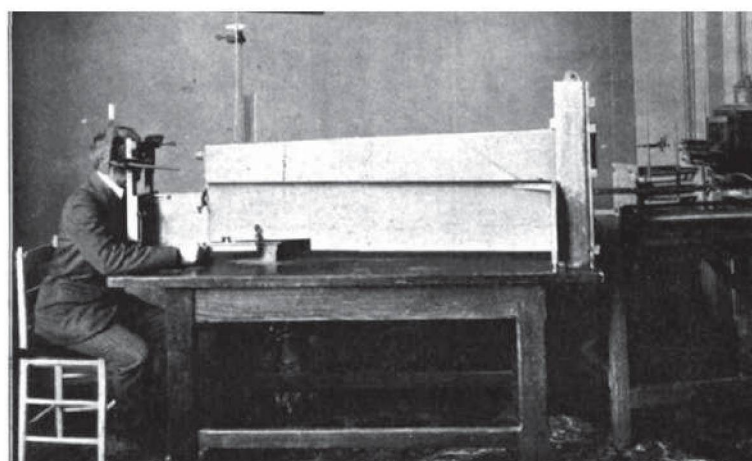


Figura 3.1: Primeiro dispositivo de rastreamento do olhar. Só era possível obter as coordenadas horizontais dos movimentos dos olhos. [14]

Já, o trabalho de Hansen *et al.* [22] detalha o avanço nos últimos 30 anos de pesquisa referente ao rastreamento do olhar, que é composto por métodos, algoritmos e técnicas. Neste trabalho, são apresentadas quatro categorias de divisão para a detecção da íris ou da pupila que são: modelos baseados em aparência, características, forma geométrica e modelos híbridos. E o trabalho Duchowski[17] recentemente publicado apresenta uma retrospectiva da técnica de rastreamento ocular, onde destaca a utilização desse método na análise de treinamento de pilotos, na indústria de jogos e manipulação de elementos da cena em resposta à direção do olhar, por exemplo em propagandas de marketing.

Os métodos baseados em aparência utilizam a intensidade do pixel da imagem do olho, para realizar o seu mapeamento, para o cálculo da estimativa do olhar. O trabalho Zhang *et al.*[60] apresenta um conjunto de dados MPIIGaze com 213.659 imagens da região da face para detecção da íris, por meio do modelo de aparência. As imagens foram capturas em diversos ambientes não controlados, que apresentam uma enorme variação da iluminação.

Já os métodos baseados em modelos exploram as características da região dos olhos com: a forma geométrica da estrutura do globo ocular e a curvatura da pupila ou da íris. Os

trabalhos de Valenti *et al.* [54], [55], [1] propõem a detecção da íris ou da pupila, por meio da extração das características geométricas dos olhos de um conjunto de imagens ocular 2D de baixa e alta resolução, cuja a localização do centro do olho depende da intensidade do lado externo da curvatura da pupila e da íris, que permite analisar a mudança de direção do gradiente (intensidade do pixel) das regiões mais brilhante para regiões mais escuras. Os métodos baseados em características utilizam propriedades bem conhecidos dos olhos, como simetria, para detectar o centro dos olhos a partir de uma imagem 2D. As propriedades utilizadas são cantos dos olhos, bordas e o gradiente (intensidade de pixel).

Os métodos baseados em modelos híbridos visam combinar diversos modelos do globo ocular [24], [21] dentro de um único sistema de rastreamento do olhar, para superar suas desvantagens relacionadas a variação de iluminação, movimentação da cabeça do indivíduo e a baixa qualidade da imagem.

O trabalho de Duchowski *et al.* [16] apresenta uma divisão das metodologias para medição dos movimentos oculares tais como: Eletro oculografia (EOG), Lentes de contato e Foto oculografia (FOG) ou vídeo oculografia (VOG).

A eletro oculografia é o método mais utilizado há 40 anos, que se baseia na mediação da diferença do potencial elétrico da pele, conforme mostrado na Figura 3.2, por meio de eletrodos fixados em volta dos olhos. O trabalho de Andreas Bulling *et al.* [9] propõe o uso de um sistema de eletro oculografia para registrar o movimento dos olhos e avaliar esses dados por meio das características obtidas pela fixação e saccades. A medição dos movimentos oculares por meio de lentes de contato requer um maior cuidado e prática por ser um método muito mais invasivo, por serem colocadas diretamente nos olhos do indivíduo. Esse método de medição é considerado o mais preciso, porém muito invasivo devido a sua estrutura conforme mostrado na Figura 3.3.



Figura 3.2: Exemplo de rastreamento do olhar por meio da eletro oculografia [12]. Eletrodos são colocados próximos aos olhos para capturar os movimentos.

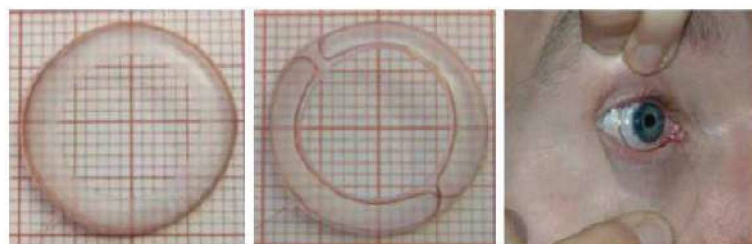


Figura 3.3: Modelo de lente de contato de cobre para rastreamento do olhar [12].

Os métodos de medição foto oculografia (FOG) ou vídeo oculografia (VOG) envolvem a medição de características distintas dos olhos. Neste método, por exemplo, a forma aparente da pupila e da íris, ou a reflexão de uma fonte de luz sobre a córnea são usadas para monitorar o movimento dos olhos. A reflexão de córnea e pupila são combinadas baseada em vídeo, para obter a direção do olhar do indivíduo. A principal característica desse método é a utilização da iluminação infravermelha, que proporciona a reflexão da córnea ou da pupila durante o processo de rastreamento do olhar.

Dentro desta divisão pode-se destacar a vídeo oculografia (VOG) devido a grande utilização dessa metodologia para medição dos movimentos oculares, algumas métricas foram destacadas para análise dos dados obtidos no processo de rastreamento do olhar. O trabalho de Blascheck [6] apresenta as características das principais métricas para a análise de dados que são fixação, saccade e scanpath.

A métrica conhecida como fixação é definida como os movimentos que estabilizam a fóvea no objeto que está sendo observado tendo a duração de 150 a 600 ms(milissegundo). Durante a fixação os olhos não ficam totalmente estacionários, pois movimentos muito pequenos são também analisados. Já a métrica *saccade* é um movimento rápido que o olho faz para reposicionar a fóvea em uma nova posição., que ao mesmo tempo é responsável por gerar uma sequência de fixações alternadas de *saccades*, executadas pelos olhos do usuário que foi denominada como métrica de scanpath.

E por fim, a métrica AOI conhecida como área de interesse [33], região que apresenta alguma característica importante para análise. Esta métrica é definida pelo próprio indivíduo que está analisando os dados obtidos pelo rastreamento do olhar.

Os trabalhos de Jianfeng *et al.*[28], Mora *et al.*[40], [39] apresentam um método de rastreamento do olhar por meio do mapa de profundidade obtido pelo dispositivo *Kinect* fabricado pela empresa *Microsoft* em 2010. O mapa de profundidade é possível ser gerado devido ao sensor do *Kinect* ser composto por um emissor infravermelho e uma câmera infravermelha, que projeta uma matriz de pontos em infravermelho e mede a distorção causada pelos raios refletidos de volta ao dispositivo.

O *Kinect* permite gerar o modelo 3D do globo ocular com seus respectivos eixos da direção do olhar. Para a obtenção das coordenadas (X e Y) são realizadas várias rotinas de calibração definidas por um alvo, que tem o objetivo de melhorar a precisão do rastreamento.

Os trabalhos de Sugano[51], Wood *et al.*[59], [58], [57] apresentam um modelo *3DMM* (*3D Morphable Model*) da região dos olhos, por meio de scanners da face em alta resolução para estimativa da direção do olhar. Esse método permite a elaboração de um modelo 3D dos olhos idêntico com a estrutura geométrica biológica com suas respectivas características, conforme na Figura 3.4. A única desvantagem apresentada comparado em relação aos métodos que utilizam imagens 2D, consiste no tempo de processamento no cálculo da estimativa do olhar. Também se pode mencionar o trabalho de Li *et al.* [36] que é referência na modelagem e reconstrução facial 3D para animações, que contribuiu muito para a geração de um modelo 3D do globo ocular mais preciso.

O trabalho de Fuhl *et al.*[20] apresenta de uma forma cronológica os principais algoritmos de rastreamento do olhar usados no decorrer do avanço da metodologia que são: *Starburst*, *Swirski*, *Pupil Labs*, *SET*, *ExCuse* e *Else*.

O algoritmo *Starburst* apresentado por Li *et al.* [35] utiliza um limite adaptativo em uma região quadrada de interesse em cada quadro de vídeo para localizar a reflexão corneana. A localização da reflexão corneana é dada pelo centro geométrico da maior região da imagem usando o limite ajustado de forma adaptativa.

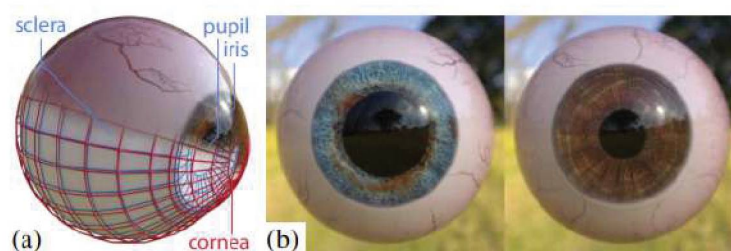


Figura 3.4: Modelo do globo ocular em 3D construído por meio de diversos escaneamento da região da face[57]. (a) Estrutura do globo ocular e (b) Exemplos de globos oculares com suas respectivas características.

Já, o algoritmo *Swirski* apresentado por Swirskiet al. [52] é composto por três etapas. A primeira é de realização do cálculo da imagem integral da região do olho, baseando-se nos recursos dos classificadores em cascata. Em seguida, é criada uma imagem binária da segmentação da região da pupila por meio da intensidade dos pixel. E no final o algoritmo define a estimativa da posição da pupila ajustando uma elipse entre a pupila e a íris.

O algoritmo *Pupil Labs* desenvolvido por Kassner [29] atualmente é o mais utilizado para o rastreamento do olhar, por ser uma plataforma *Open Source* voltada a dispositivos “*Head Mounted*”. O algoritmo é composto por vários métodos de processamento de imagem, por exemplo o filtro de Canny [10], que é utilizado na detecção das bordas da imagem do olho por meio da intensidade de pixel vizinha.

O algoritmo proposto por Javadi et al. [26] conhecido por *SET*, consiste em combinações de estimativas manuais e automáticas para a detecção do centro da pupila, onde a imagem de entrada 2D é convertida para uma imagem binária e a segmentação da borda da pupila é ajustada manualmente. Após calculada a borda da região da pupila é utilizada uma elipse para cada segmento extraído da região da pupila, confirmando a detecção.

Os algoritmos *ExCuse* e *Else*, desenvolvido por Fuhl [19] baseiam no detector de bordas Canny [10] da região dos olhos, no qual o centro da pupila é obtido por meio de uma abordagem baseada em decisão que analisa a influência de outras bordas, com a região da pupila, em seguida são removidas por meio de operadores morfológicos. O objetivo é apresentar um sistema robusto, de uma abordagem econômica de recursos que pode ser integrado em diversas arquiteturas.

Os trabalhos de Duchowski [15] e Morimoto [41] apresentam aplicações interativas nos respectivos domínios: neurociência, psicologia, marketing e comunicação que utilizam o rastreamento do olhar por meio da reflexão da pupila com o auxílio da iluminação infravermelha. Pode-se destacar outro trabalho apresentado por Morimoto et al. [41] o detalhamento da técnica VOG que utiliza a reflexão da pupila, associada no desenvolvimento de aplicações que utilizam o modelo de dispositivos de remotos de rastreamento do olhar.

No trabalho de Duchowski [18] e Kiefer et al. [30] utilizam o diâmetro da pupila para medir a carga cognitiva de cada participante diante de um estímulo visual. Observando que cada indivíduo irá possuir um diâmetro diferente de pupila.

4 Materiais e Métodos

Neste capítulo serão apresentados as especificações e desenvolvimento do dispositivo de rastreamento do olhar de baixo custo e da interface gráfica para a navegação web por meio dos movimentos dos olhos. O trabalho de especificação foi efetuado em parceria com profissionais da área da saúde, tais como: terapeutas ocupacionais.

4.1 Protótipos

Na presente seção serão apresentados os protótipos desenvolvidos durante a elaboração do trabalho, apontando quais características compõem o hardware e o software. O protótipo I será apresentado na subseção 4.1.1 e o protótipo II na subseção 4.4.2

4.1.1 Protótipo I

Nesta subseção serão apontadas as características do *hardware*, utilizada no Protótipo I. A modelagem da estrutura do dispositivo de rastreamento ocular, foi desenhada e construída com auxílio do programa *Autodesk Maya* [2], conforme a Figura 4.1. Na Figura 4.3 mostra a estrutura do dispositivo impressa na impressora 3D Cloner DH+, utilizando o filamento PLA.

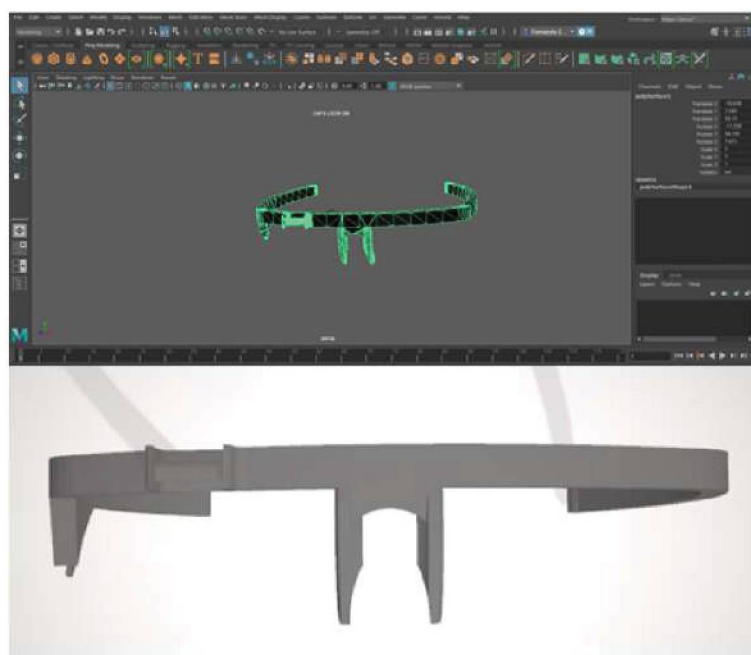


Figura 4.1: Modelagem da estrutura do dispositivo de rastreamento do olhar pelo software *Autodesk Maya*.



Figura 4.2: Primeiro protótipo impresso em filamento PLA.

Devido a pouca a flexibilidade do filamento PLA , foram impressos protetores com filamento flexível e colocados nas hastes do dispositivo, demonstrado na Figura 4.3, assim proporcionado maior conforto ao usuário.

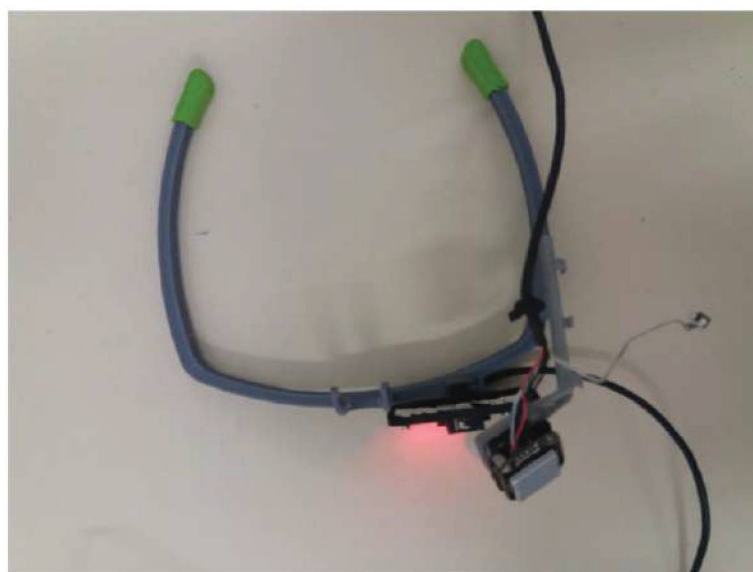


Figura 4.3: Dispositivo após a impressão com protetores nas hastes feito de filamento flexível. O objetivo dos protetores é proporcionar conforto na região da orelha.

4.1.2 Protótipo II

Após de sugestões de melhorias ergonômicas das terapeutas ocupacionais das instituições colaboradoras nos testes de usabilidade, foi desenvolvido outro protótipo do dispositivo de rastreamento ocular, visando um maior conforto aos participantes dos testes, principalmente na região do nariz, conforme demonstrado na Figura 4.4.

A nova estrutura do dispositivo, foi impressa com filamento de Nylon conforme a Figura 4.5, devido a grande resistência e o aumento na flexibilidade da nova estrutura.



Figura 4.4: Novo design da estrutura no dispositivo. A região do nariz foi modificada atendendo o padrão ergonômico sugerido pelas terapeutas.

Conforme a Figura 4.6, a nova estrutura não apresentou nenhum desconforto aos participantes das instituições colaboradoras. Além disso, o novo design se baseou-se nas sugestões de melhorias apresentadas pelos terapeutas ocupacionais, que analisaram o primeiro protótipo.



Figura 4.5: Nova estrutura do dispositivo de rastreamento ocular impressa em filamento de nylon. Com o nylon foi possível obter o resultado desejado de leveza e de ergônima.



Figura 4.6: Usuário utilizando a nova estrutura do dispositivo.

4.2 Desenvolvimento do Dispositivo de Rastreamento do Olhar

Nesta seção, serão apresentados o desenvolvimento da prototipação da estrutura do dispositivo e as especificações dos componentes eletrônicos utilizados.

4.2.1 Estrutura

Para a prototipação da estrutura do dispositivo projetado, foram utilizadas as impressoras: UP 3D Plus, 3D Machine One e 3D Cloner DH+ (Figura 4.7), disponíveis no laboratório de pesquisa do grupo IMAGO. Todos esses dispositivos funcionam com a tecnologia FDM (*Fused Deposition Modeling*, Modelagem de Deposição Fundida, em português), que é caracterizada pela deposição de material em camadas, utilizado geralmente plásticos, como ABS (*Acrylonitrile Butadiene Styrene* (Acrilonitrila Butadieno Estireno)) e PLA (*Poly Lactic Acid*, (Ácido Polilático), Nylon e Filamento Flexível).

A estrutura do dispositivo do rastreamento do olhar foi baseada no trabalho de Kassner *et al.*[29] por ser um dispositivo vestível, em inglês *wearable*, onde englobam todos aqueles

equipamentos eletrônicos que contém processadores próprios eficientes [50] e que podem ser usados como peças de roupa ou acessórios. Os dispositivos vestíveis são muito usados para a realização do monitoramento durante atividades físicas [11], devido a boa performance na aquisição de dados e pela leveza.

Para o processo de impressão, foi utilizado o filamento do tipo Nylon de 1.75 mm da empresa UP3D, devido a sua resistência e o filamento flexível 1.75 mm da empresa F3DB, devido a sua flexibilidade e conforto, mostrada na Figura 4.8 para o suporte das hastes do dispositivo.

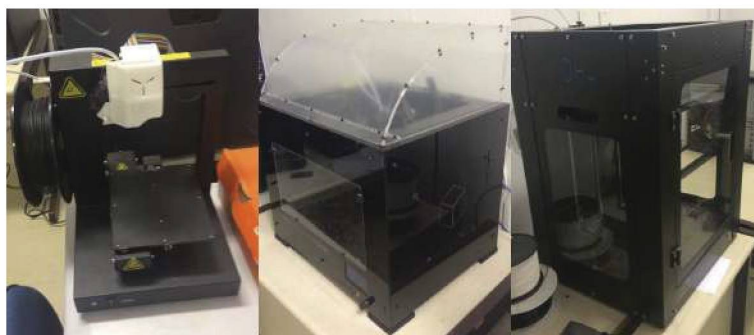


Figura 4.7: (a) Impressora UP 3D Plus (b) Impressora 3D Machine One (c) Impressora 3D Cloner DH+.



Figura 4.8: Filamento utilizado para a confecção do protótipo I.

4.2.2 Especificação dos Componentes Eletrônicos

Especificação da câmera LOGITECH HD WEBCAM C525

No presente trabalho, foi utilizada a câmera Logitech HD Webcam modelo C525 para a captura das imagens do campo de visão do indivíduo. A câmera será anexada na parte superior do dispositivo. No entanto, sua estrutura será retirada, para redução do peso, proporcionando mais conforto ao usuário. A câmera possui uma resolução de 1280 x 720 pixels e entrada USB 2.0.

Especificação da câmera LIFECAM HD-6000

A câmera do modelo LifeCam HD-6000, possui uma resolução 1280x720 pixels e captura de 30 fps, onde a fabricante é a empresa *Microsoft*. Esta câmera foi utilizada na detecção da parte escura da pupila para a obtenção das coordenadas (X, Y) dos movimentos dos olhos. Ela foi anexada na parte inferior da estrutura do dispositivo próximo aos olhos, onde passou por algumas modificações, para que fosse possível anexar os LEDs SMD infravermelhos, modelo

SFH 4050-Z conforme ilustrado na Figura 4.9, estes LEDs possuem um comprimento de onda de 860 nm e um ângulo de visão de 140°.



Figura 4.9: Led Emitter IR 860nm - SFH 4050-Z

4.2.3 Modificação realizada na câmera Logitech HD WebCam C525

A estrutura de plástico em torno da câmera foi retirada, com o objetivo reduzir o peso na estrutura do dispositivo de rastreamento ocular. Após modificação no protótipo, integrantes do grupo de pesquisa IMAGO, avaliaram a nova estrutura, como exibido na Figura ??.



Figura 4.10: Câmera Logitech HD C525 sem sua estrutura de plástico, acoplada na estrutura do dispositivo de rastreamento do olhar.

4.2.4 Modificações realizadas na câmera LifeCam HD-6000

A estrutura da câmera foi toda retirada para a redução de peso e para facilitar a solda dos leds infravermelhos no circuito da câmera mostrada na Figura 4.11 e as seguintes alterações foram realizadas:

1. Cortar o fio do microfone, pois houve a necessidade da captura do áudio, durante o processo de rastreamento ocular ;
2. Desmontar o botão anexado no circuito (algumas câmeras não possuem esse botão);
3. Soldar os Leds IR;
4. Substituir o filtro de bloqueio de IR da câmera. As modificações realizadas não apresentam nenhum risco de descarga elétrica para o usuário, ao utilizar o dispositivo de rastreamento ocular (Figura 4.12;
5. Os LEDs EMITTER IR 860NM 100MA SMD não proporcionaram nenhum risco para os olhos humanos. Um estudo paralelo foi realizado com o objetivo de analisar a intensidade de iluminação diversos tipos de LEDs, proporcionando a melhor escolha para o protótipo, conforme ilustrado na Figura 4.13.

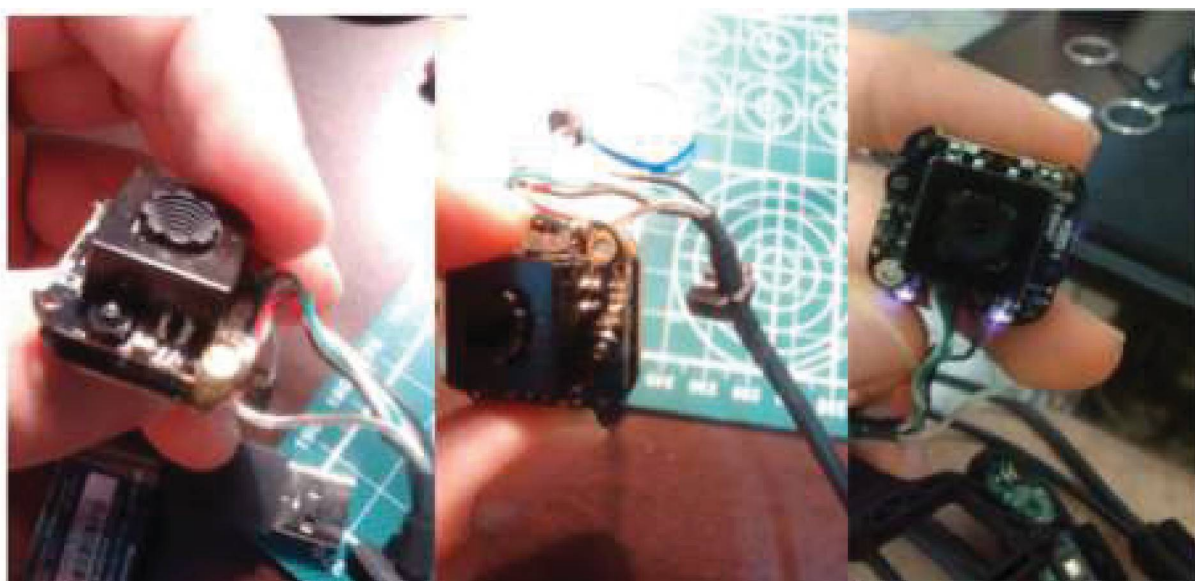


Figura 4.11: Câmera LifeCam HD - 6000 sem sua estrutura de plástico

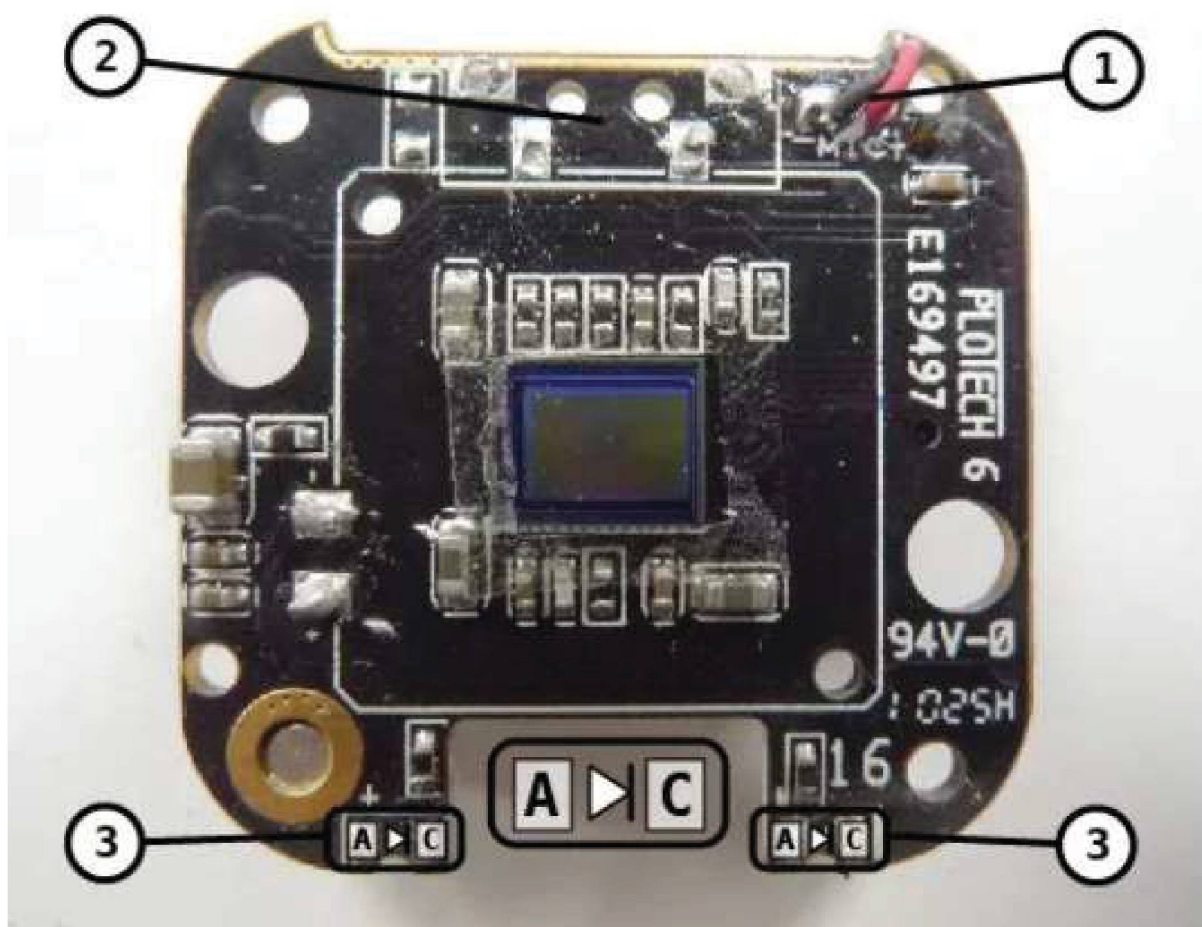


Figura 4.12: Sequências das modificações feita na câmera LifeCam HD - 600

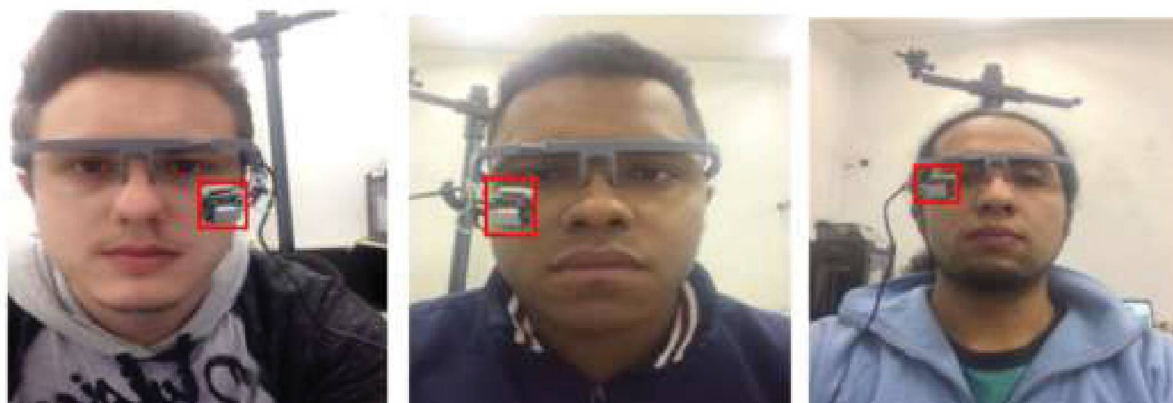


Figura 4.13: Câmera com os leds IR acoplada na estrutura do dispositivo de rastreamento do olhar

4.3 Funcionamento do software de rastreamento do olhar

4.3.1 Processo de detecção da pupila

Para o processo de detecção da pupila foi utilizado a plataforma *Open Source* da *Pupil Labs* [29] voltada para o desenvolvimento de dispositivos montados na cabeça, conhecido como

"*Head Mounted*". Tais dispositivos permitem mais mobilidade de movimentação da cabeça do indivíduo, mantendo a eficiência da detecção da pupila. A plataforma *Open source da Pupil* permite utilizar câmeras comuns, por exemplo, web cams que cumprem o padrão UniFi Vídeo Câmera (UVC), que gravam em HD, sendo de dia ou de noite, em ambiente fechado ou ar livre. No processo de detecção da pupila foi utilizado a web cam LifeCam HD-6000 para a obtenção da imagem 2D da região da pupila, conforme a Figura 4.14 com uma resolução 340 x 480 pixel, numa frequência de 30Hz.

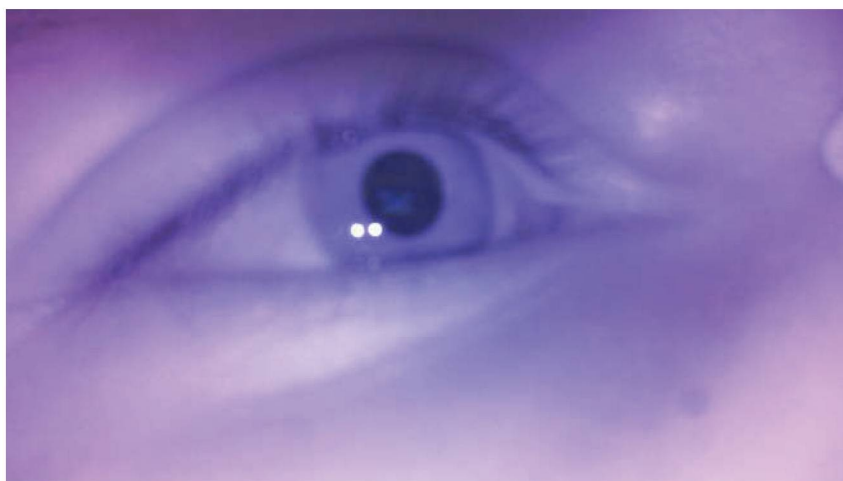


Figura 4.14: Imagem do olho em 2D.

O algoritmo fonte disponibilizado pela plataforma *Pupil Labs* está escrito na linguagem de programação Python [49]. A adaptação feita no algoritmo fonte da *Pupil Labs* foi para associar com o algoritmo desenvolvido que permite movimentar o cursor do mouse com os movimentos dos olhos. Uma outra alteração realizada teve o objetivo de associar a plataforma *open source* com a interface gráfica desenvolvida em HTML5 e JavaScript.

O processo de detecção pupila é realizado por meio de imagens em 2D combinada com a iluminação [IR]. Inicialmente é detectada a região da pupila da mesma forma que demonstrou Fuhl *et al.* [20] em seu trabalho, obtendo assim as características da região de interesse. As bordas da pupila são detectadas usando o algoritmo de detector de *Canny* [10], e então são filtradas de acordo com a intensidade de *pixels* da vizinhança. Depois o sistema refina a região da pupila especificamente uma região de *pixels* escuros, a partir do primeiro bico de baixa intensidade no histograma da imagem do olho. Esse refinamento tem por objetivo remover da imagem as bordas da região saturada, como as reflexões na córnea.

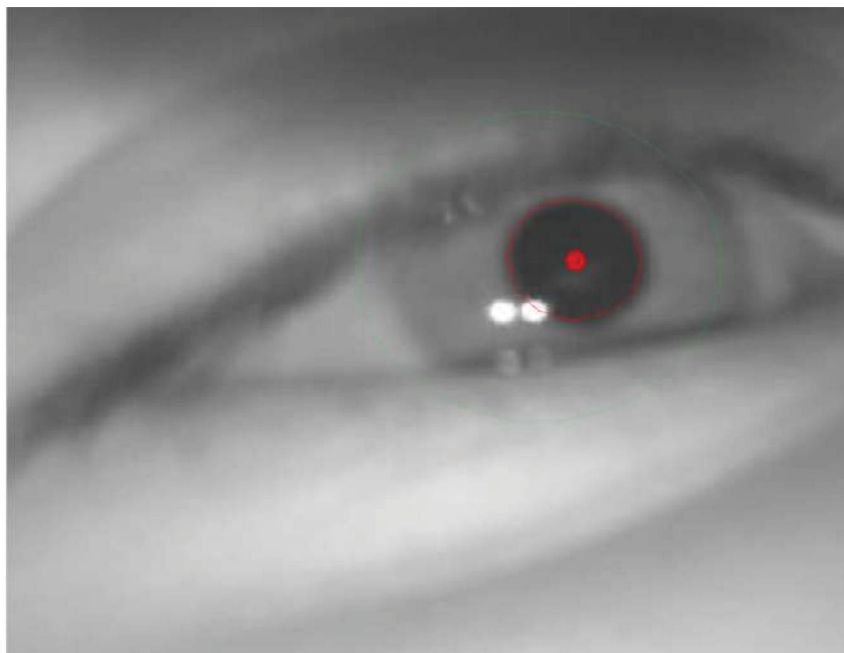


Figura 4.15: Detecção da borda da região da pupila.

Logo após a detecção total da pupila, o processo de calibração é iniciado etapa considerada simples, que consiste em acompanhar com auxílio dos olhos um círculo apresentado na tela em posições aleatórias, Este procedimento tem duração de 15 segundos no máximo para finalização do processo.

O objetivo da calibração é melhorar a precisão da detecção da pupila durante o rastreamento do olhar [56]. Na Figura 4.16 é demonstrado a posição dos círculos na tela do computador, durante o processo de calibração. Na interface gráfica foi definida a apresentação de quatro círculos, todos de forma aleatória, de tal maneira que usuário possa realizar o processo de calibração, visando assim, um resultado satisfatório em relação a precisão do rastreamento ocular.

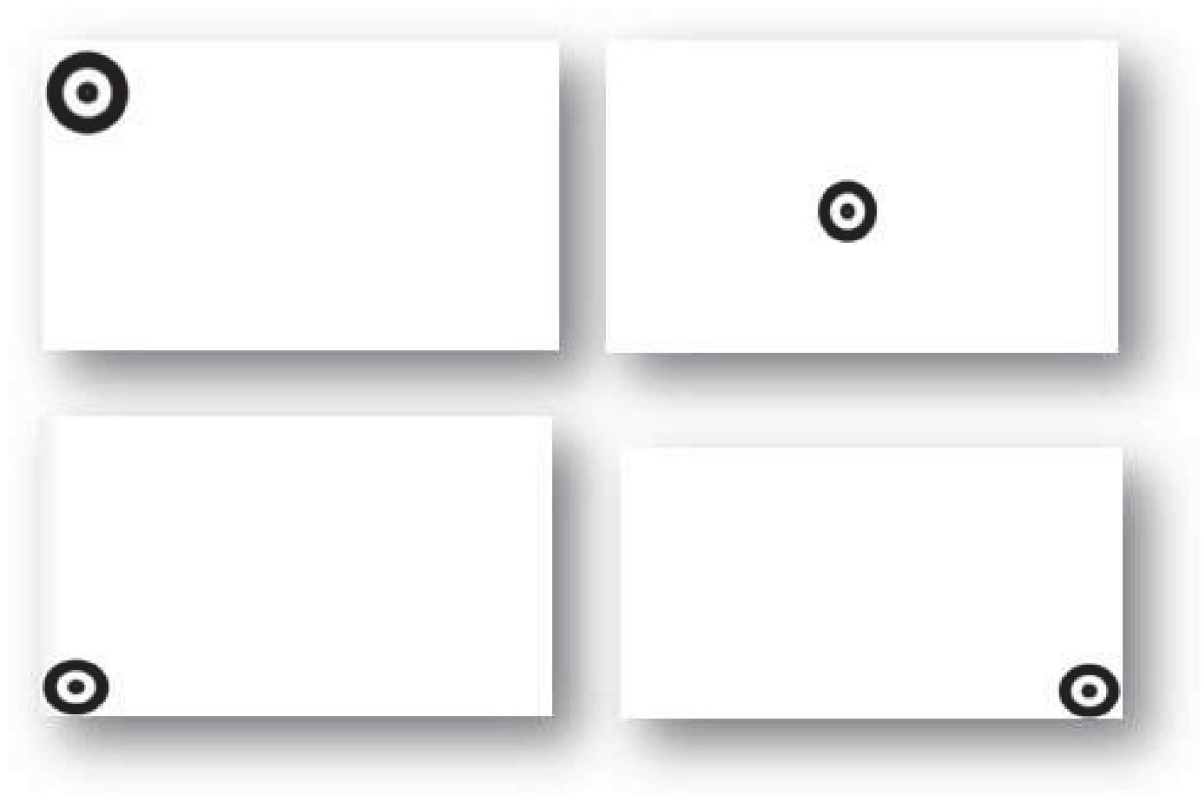


Figura 4.16: Calibração - demonstração dos círculos na tela.

Após a finalização do processo de calibração, a etapa de interação do dispositivo com a interface é iniciada, conforme mostrada na Figura 4.18.

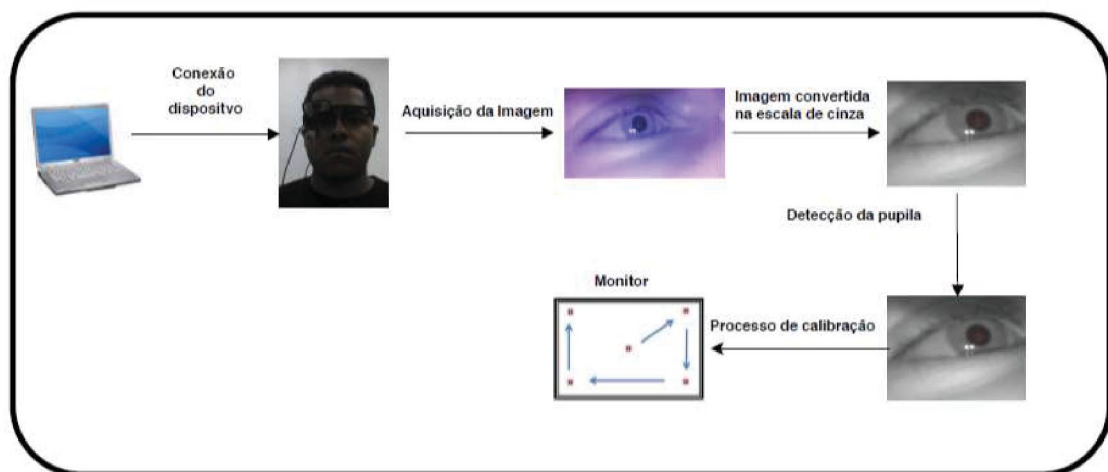


Figura 4.17: Fluxo do processo de inicialização de detecção da pupila e rastreamento do olhar.

- Etapa 1

- Conexão do dispositivo de rastreamento do olhar com o notebook;
- Aquisição da imagem 2D por meio da câmera acoplada na estrutura do dispositivo, que está direcionada para o olho direto do indivíduo;

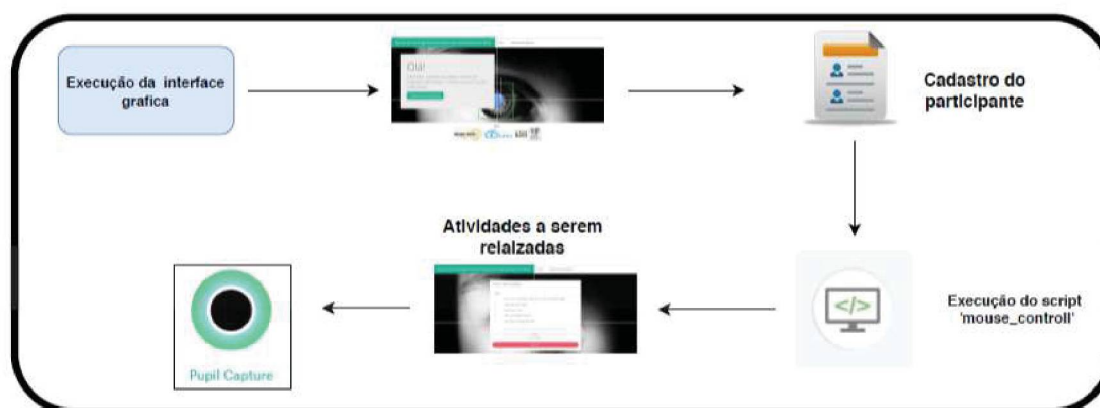


Figura 4.18: Demonstração do processo de execução da interface gráfica associado a plataforma da *Pupil Labs*.

- Em seguida a imagem será convertida para a escala de cinza, para determinação da região escura da pupila;
- Aplicação do filtro de Sobel para redução de ruídos na imagem;
- Aplicação do detector de bordas *Canny* que delimita a região de interesse, proporcionando assim uma melhor precisão da detecção da circunferência da área da pupila;
- Processo de calibração por meio da plataforma *Open Source Pupil Labs*.

• Etapa 2

- Execução da aplicação web, por meio IDEA WebStorm;
- É carregado a tela inicial da aplicação, que solicitará a realização do cadastro do participante;
- Após o cadastro do participante é executado o script `mousecontroll.py` responsável por capturar as coordenadas dos movimentos dos olhos obtidas durante o rastreamento do olhar pelo dispositivo e mover cursor do mouse de acordo com a direção do olhar do participante;
- Uma lista com as atividades, exibida aos participante, onde o mesmo deve realizar no decorrer do teste de usabilidade;
- Após o participante efetuar a leitura das atividades a serem realizadas é necessário clicar no botão iniciar para que seja carregado a interface do menu da aplicação, proporcionando a navegação pela internet e a gravação dos pontos de fixação do olhar do participante pela plataforma da *Pupil Labs*.

Foi utilizado o *Pupil Player*, conforme apresentado na Figura 4.19 para a manipulação do vídeo gravado durante o processo do rastreamento do olhar e para a extração de alguns dados referente às métricas: tempo de fixação, *saccade* e *scanpath* para a análise.

O *Pupil Player* apresenta um menu de fácil compressão que pode ser observado na Figura 4.19, ao lado esquerdo estão as opções de download do vídeo. No lado direito está o menu de configurações referentes aos *plugins* de visualização das coordenadas (X e Y) obtidas no processo de rastreamento do olhar e no canto superior está a informação da quantidade de *frames* por segundos (fps).

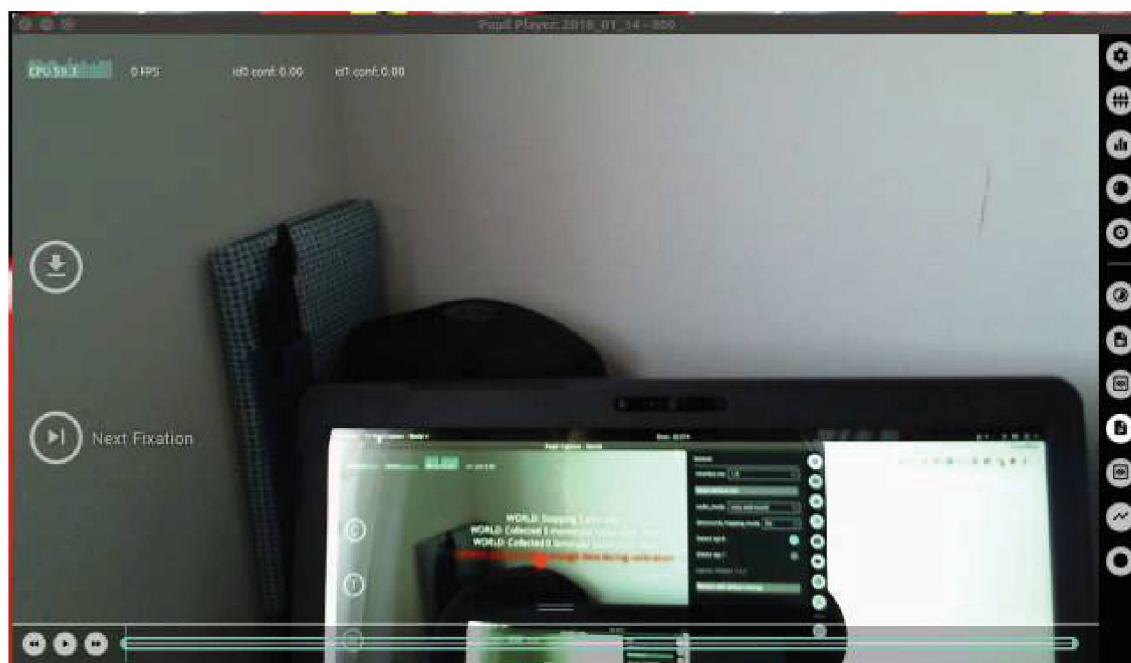


Figura 4.19: Extração dos dados gravados durante o rastreamento do olhar com o software *Pupil Player*.

4.4 Interface Gráfica

Esta seção apresenta a descrição das tecnologias e trabalhos que serviram como referência para o desenvolvimento da ferramenta computacional e todos os detalhes das funcionalidades implementadas na ferramenta, que se inicia com o cadastro dos participantes e depois relação das atividades que o usuário deve executar durante os testes.

4.4.1 Tecnologia

A interface gráfica foi desenvolvida na forma de uma plataforma web, utilizando a linguagem *JavaScript* e o padrão *HTML5* para construção dos controles e da interação com o usuário, por meio da *Idea WebStorm*[27]. Para o armazenamento das informações do participante foi gerado um arquivo de texto *.TXT*, que contém todos os dados relacionado ao processo de rastreamento ocular, até a finalização das atividades propostas ao usuário. A plataforma *Open Source* da *Pupil Labs*, foi responsável por permitir o armazenamento destes dados.

O design da interface gráfica foi elaborado com base nas preferências e limitações dos portadores de deficiência motora. Os trabalhos utilizados como referência foi de Morimoto *et al.*[41] , [47] que apresentaram um processo de desenvolvimento de interfaces interativas que auxiliam pessoas em determinadas atividades de fácil usabilidade, proporcionando uma melhor interação e comunicação nos ambientes que vivem diariamente.

Outro trabalho base é do Thiago Pradi [46], apresenta uma ferramenta computacional que possui uma interface gráfica interativa para o treinamento de expressões faciais com autistas. Na ferramenta computacional foi adicionado uma biblioteca de rastreamento do olhar da empresa *XLabs*, que permitiu observar os pontos de fixação dos portadores de autismo durante a realização do treinamento. A métrica utilizada para avaliar os dados obtidos foi o mapa de calor, conhecido no termo em inglês de *Heatmap* demonstrado na Figura 4.20.

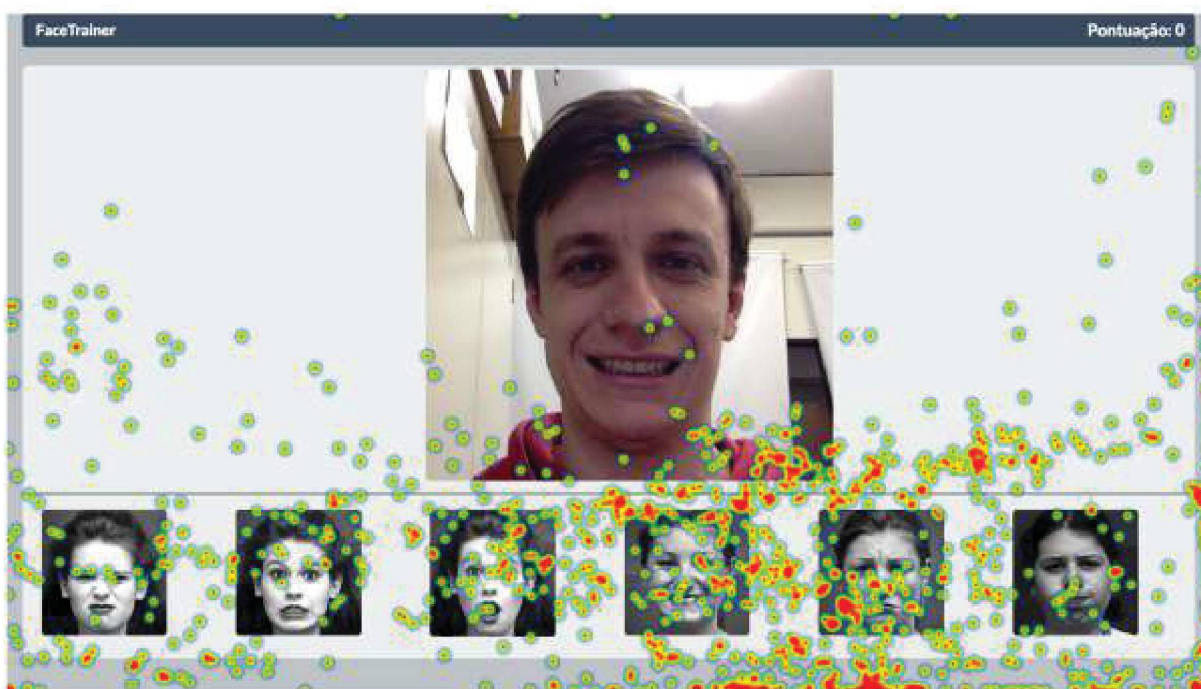


Figura 4.20: Exemplo de análise de dados por *Heatmap*

4.4.2 Funcionalidades da ferramenta

Ao acessar a aplicação, o usuário deverá efetuar o cadastro de suas informações. Para realizar o cadastro basta clicar no botão 'Cadastrar Participante', apresentado na figura 4.21. Será necessário o preenchimento dos seguintes campos: nome completo, endereço, bairro, cidade, telefone, e-mail e instituição, conforme a Figura 4.22

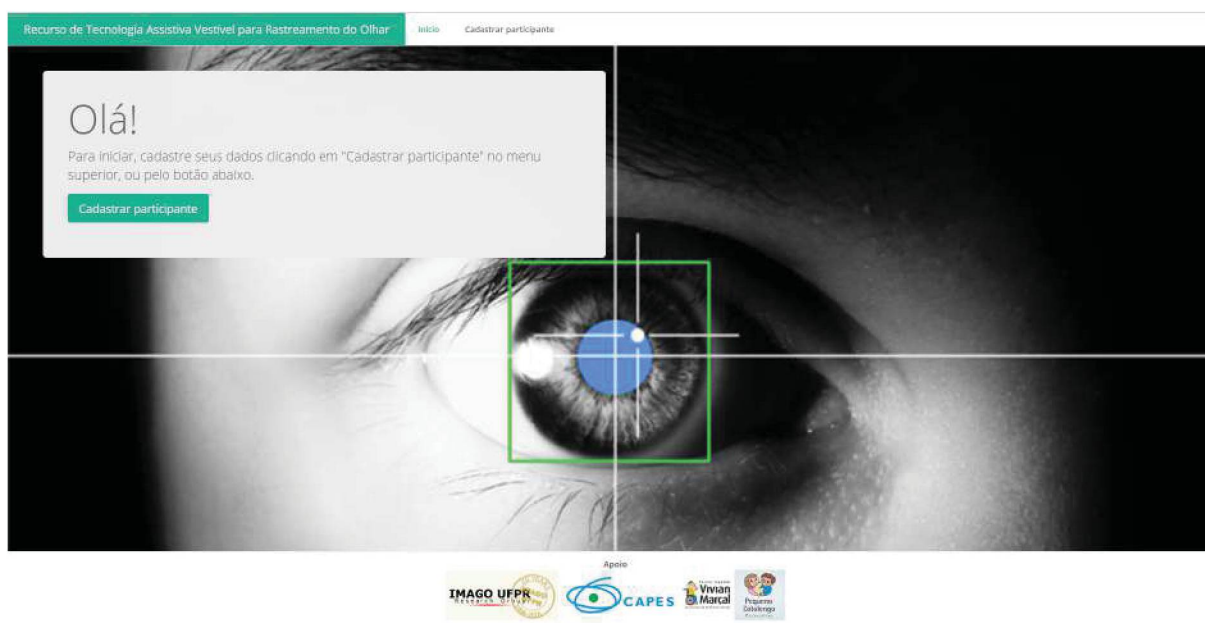


Figura 4.21: Tela inicial da aplicação.



Figura 4.22: Tela de cadastro.

O método de seleção do objeto utilizado na ferramenta computacional, foi baseado no trabalho de Päivi Majaranta *et al.* [38] que usa o tempo de latência (*dwell time*), que corresponde ao tempo de fixação do olhar no processo de seleção de um determinado objeto de interesse. Após a seleção do objeto, o mesmo estará em foco, e caso o usuário direcione o olhar para outra direção que não corresponda a do objeto, a ação de seleção é cancelada. A Figura 4.23 demonstra o diagrama do processo de latência sobre o objeto.

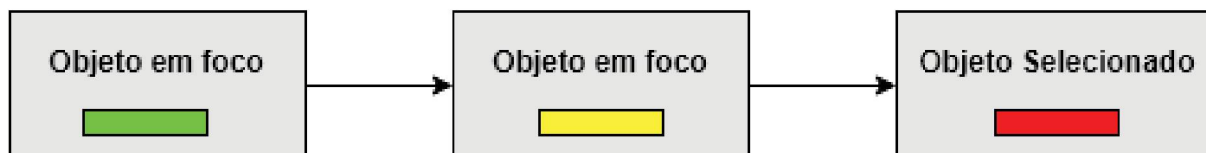


Figura 4.23: Diagrama do processo de latência sobre o objeto.

As etapas do processo de seleção do objeto são apresentadas nas figuras 4.24, 4.25 e 4.26. As fixações são representadas por um círculo semitransparente vermelho, que facilita a seleção dos objetos pelo usuário. No entanto o botão 'clique' localizado no menu lateral da interface gráfica, apenas será ativada por meio do tempo de latência, onde a confirmação do processo de seleção do objeto se daria pela alteração da cor do círculo para verde.



Figura 4.24: Região de interesse pré - selecionada.

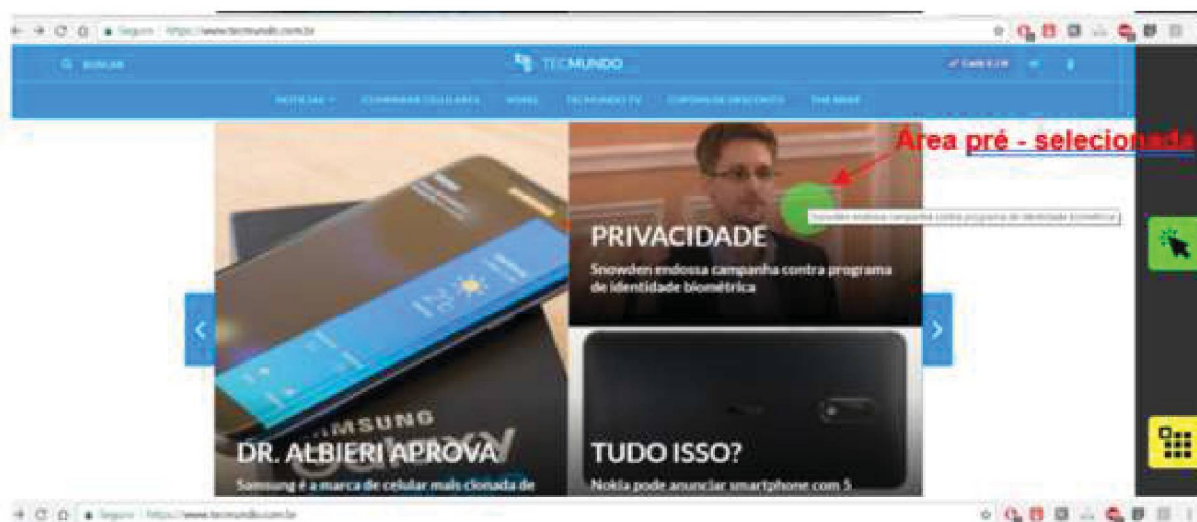


Figura 4.25: Região de interesse selecionada.



Figura 4.26: Confirmação da seleção da região desejada.

O desenvolvimento do teclado virtual foi baseado nos trabalhos de Andrew *et al.* [53] e Antonio Diaz *et al.* [32] que utilizam o tempo de latência para a seleção de objetos. Foi implementado um teclado virtual ativado pelo tempo de latência, conforme a Figura 4.27, onde esse tempo já é pré-configuração com o respectivo valor de 500 - ms encontrado na literatura [37].

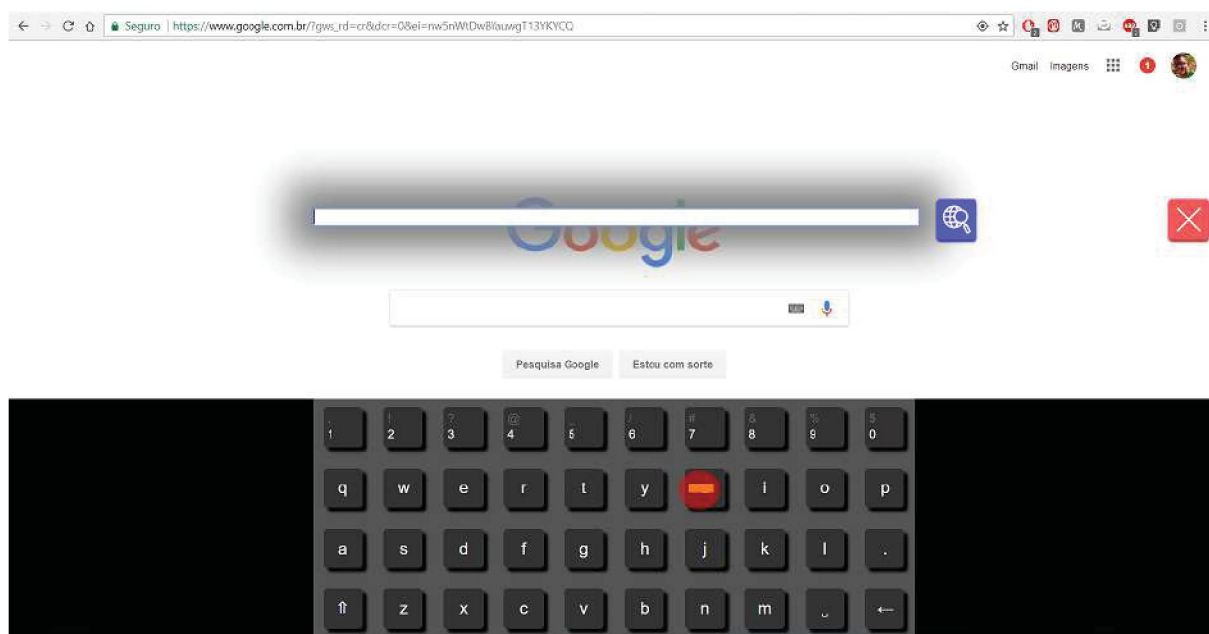


Figura 4.27: Teclado virtual ativado pelo mecanismo de tempo de latência.

A configuração da interface gráfica é visualizada por meio de um menu de funcionalidade localizado no lado direito da tela. Na interface há dois parâmetros que são o *dwell time* e o *button size*, onde os valores podem ser alterados pelo usuário que são: tamanho do botão e o tempo de latência para a seleção do objeto.

5 Testes de Usabilidade

Com o objetivo de avaliar a implementação e avaliar a usabilidade do dispositivo de rastreamento do olhar desenvolvido, foi efetuado testes de usabilidade nas instituições colaboradoras.

O experimento foi aprovado pelo Comitê de Ética em pesquisa do Setor de Ciências da Saúde da UFPR, sob o número CAAE 81351217.7.0000.0102 A.1. Todos os pais ou responsáveis receberam um termo de consentimento livre e esclarecido, aprovando a participação dos jovens e adultos no presente estudo, anexos A2, A3 e A4. Todos os estudos de campo foram supervisionado por um profissional da área da saúde de cada instituição parceira e acompanhado pelo educador responsável pelo jovem ou adulto. Na seção 5.1 apresenta a métrica de Escala de usabilidade do Sistema (SUS) para avaliação do dispositivo de rastreamento do olhar e a seção 5.2 apresenta metodologia para realização dos testes e a Seção 5.3 apresenta definições para recrutamento dos participantes nas instituições.

5.1 Conceito de Usabilidade

Usabilidade é um conceito que ganhou importância a partir das décadas de 1970 e 1980, advindo do desenvolvimento de softwares. Entende-se por usabilidade a propriedade de ações que permite a interação do homem com determinado produto ou equipamento, que viabiliza o objetivo pretendido principalmente de maneira mais confortável, fácil, interativa e eficiente possível. Ela se refere à relação que se estabelece entre usuário, tarefa, equipamento e demais aspectos do ambiente no qual o usuário utiliza o sistema. Diversos autores buscam identificar critérios fundamentais de usabilidade, ou seja, aqueles indispensáveis para uma interação usuário-produto satisfatória.

Segundo Sckake *et al.* [48] entende que a usabilidade como o principal atributo necessário para a aceitabilidade de um produto no mercado. Ele identifica eficiência, flexibilidade, aprendizado e atitude como seus principais atributos. Eficiência está relacionada à velocidade e quantidade de erros percebidos durante a interação; flexibilidade consiste na capacidade do produto se adaptar a mais atividades do que aquelas para as quais foi idealizado; aprendizado une a facilidade de compreensão e retenção a médio ou longo prazo; atitude mede o desgaste sofrido pelo usuário durante a interação, como cansaço, irritação, desconforto. Segundo os trabalhos de Jacob *et al.* [25] e Nielsen *et al.* [42], [43], [44] enumera cinco parâmetros, que considera como tradicionalmente aceites, para medir a usabilidade: fácil de aprender, o utilizador rapidamente consegue interagir com o sistema, aprendendo as opções de navegação e a funcionalidade dos botões; eficiente para usar, depois de ter aprendido como funciona, consegue localizar a informação que precisa; fácil de lembrar, mesmo para um utilizador que usa o sistema ocasionalmente, não tem necessidade de voltar a aprender como funciona, conseguindo lembrar-se; pouco sujeita a erros, os usuarios não cometem muitos erros durante a utilização do sistema, ou se os cometem devem conseguir recuperar, não devendo ocorrer erros catastróficos; e

agradável de usar, os utilizadores sentem-se satisfeitos com o sistema, gostam de interagir com ele.

Para especificar ou medir a usabilidade é necessário identificar os objetivos e decompor eficácia, eficiência e satisfação, demonstrado na Figura 5.1

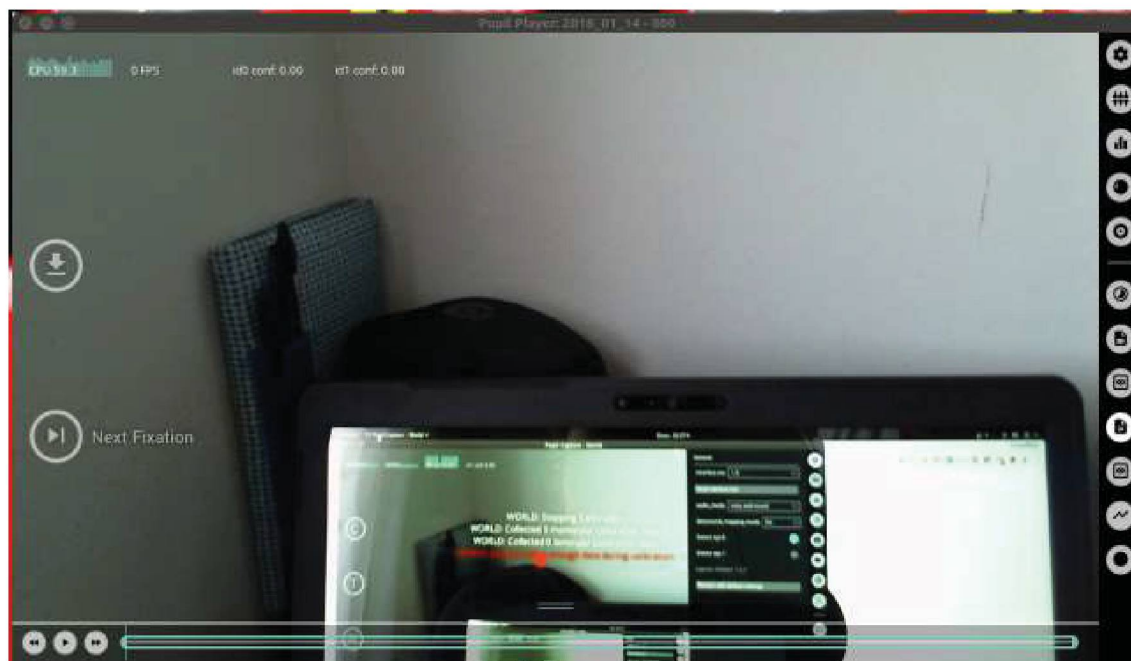


Figura 5.1: Diagrama de representação dos objetivos do teste de usabilidade. Fonte: (ISO 9241-11, 2011)

5.2 Escala de usabilidade do sistema (SUS)

O método de avaliação Escala de Usabilidade do Sistema (SUS, do inglês, *System Usability Scale*) consiste em uma escala simples de dez itens, a qual fornece uma visão global da avaliação subjetiva de usabilidade de um sistema [8]. O questionário é composto de 10 afirmações com cinco opções de respostas variando de “discordo fortemente” (pontuação mínima igual a 0) a “concordo fortemente” (pontuação máxima igual a 100), em que deve ser assinalada apenas uma opção em cada item, anexo A5.

Depois que os formulários são preenchidos, é necessário realizar alguns cálculos para obter a pontuação final.

- Para as respostas ímpares, deve-se subtrair 1 da pontuação que o usuário respondeu.
- Para as respostas pares, deve-se subtrair a resposta de 5. Por exemplo, se o usuário respondeu 2, contabilize 3.
- Somam-se os valores das perguntas, e multiplica-se por 2,5. A escala da pontuação final varia de 0 a 100. Valores acima de 68 são considerados acima da média, sendo que valores acima de 80,3 correspondem a uma excelente usabilidade.

Se necessário, os pesquisadores devem explicar a questão ao voluntário para que não haja equívocos nas respostas. As afirmações apresentadas nesta escala abrangem uma variedade de aspectos da usabilidade do sistema, tais como necessidade de apoio, treino e complexidade e, portanto, têm um nível elevado de validade aparente para a medição de usabilidade de um sistema [7].

5.3 Participantes

Como participantes do teste, foram selecionadas indivíduos de dois centros diferentes: ONG Pequeno Cotelengo Paranaense e Escola de Educação Básica Vivian Marçal situadas em Curitiba . Foram recrutadas no total 8 deficientes motores com idade de 21 a 35 anos e 8 indivíduos sem nenhuma deficiência motora. Todos os indivíduos que participaram dos testes eram alfabetizados.

Para participar do estudo, cada uma das instituições assinou um formulário de co-participação, concordando em autorizar o experimento a ser realizado em suas dependências. Para sistematizar a escolha dos participantes em cada um dos centros, foram definidos critérios de inclusão e exclusão. Os critérios foram definidos com base nos dados disponíveis sobre os deficientes motores de cada um das instituições.

5.3.1 ONG Pequeno Cotelengo Paranaense e Escola de Educação Básica Vivian Marçal

A escolha dos participantes do experimento na ONG Pequeno Cotelengo Paranaense e Escola de Educação Básica Vivian Marçal em parceria com os profissionais que trabalham nas instituições. A seleção foi realizada a partir dos seguintes critérios:

- Participantes ONG Pequeno Cotelengo Paranaense e Escola de Educação Básica Vivian Marçal.
- Diagnóstico médico, relatando um determinado nível deficiência motora;
- Idade entre 18 e 35 anos;
- Alfabetizadas.
- Termo de consentimento livre esclarecido ao pais, e por eles assinado.
- Possibilidade de que um dos pais (ou responsável legal) possa acompanhar toda a sessão de interação com a ferramenta computacional por meio do dispositivo de rastreamento ocular de baixo custo.

5.3.2 Equipamento e Local

Os testes foram acompanhados e supervisionados por um profissional da área da saúde de cada instituição parceira.

Os testes foram executados em uma sala cedida pela direção da Escola de Educação Básica Vivian Marçal conforme a Figura 5.2, para maior conforto e por possuir um espaço mais adequado. Na ONG Pequeno Cotelengo Paranaense foi realizado testes na sala de informática, com o auxílio da terapeuta ocupacional, demonstrado na Figura 5.3.

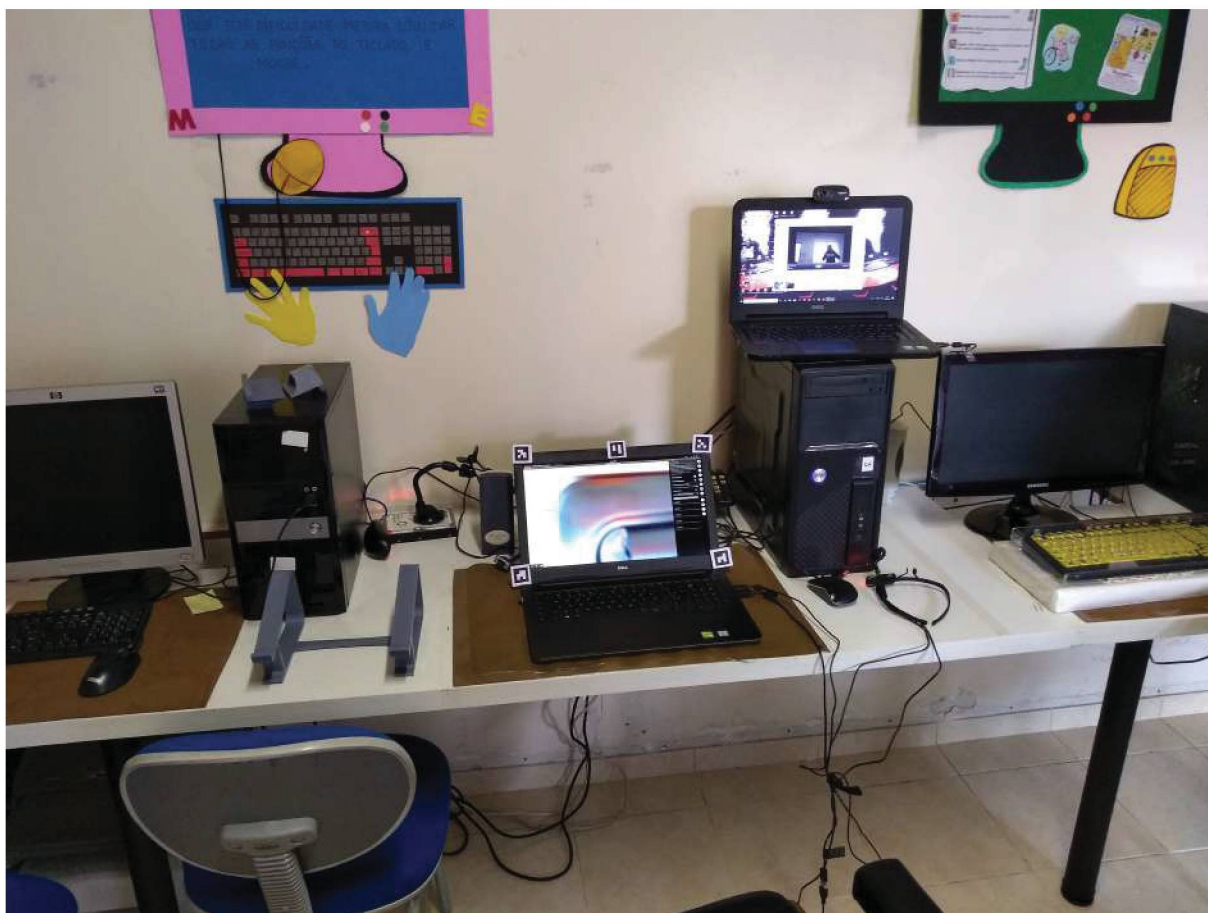


Figura 5.2: Sala cedida pela Escola Vivian Marçal.

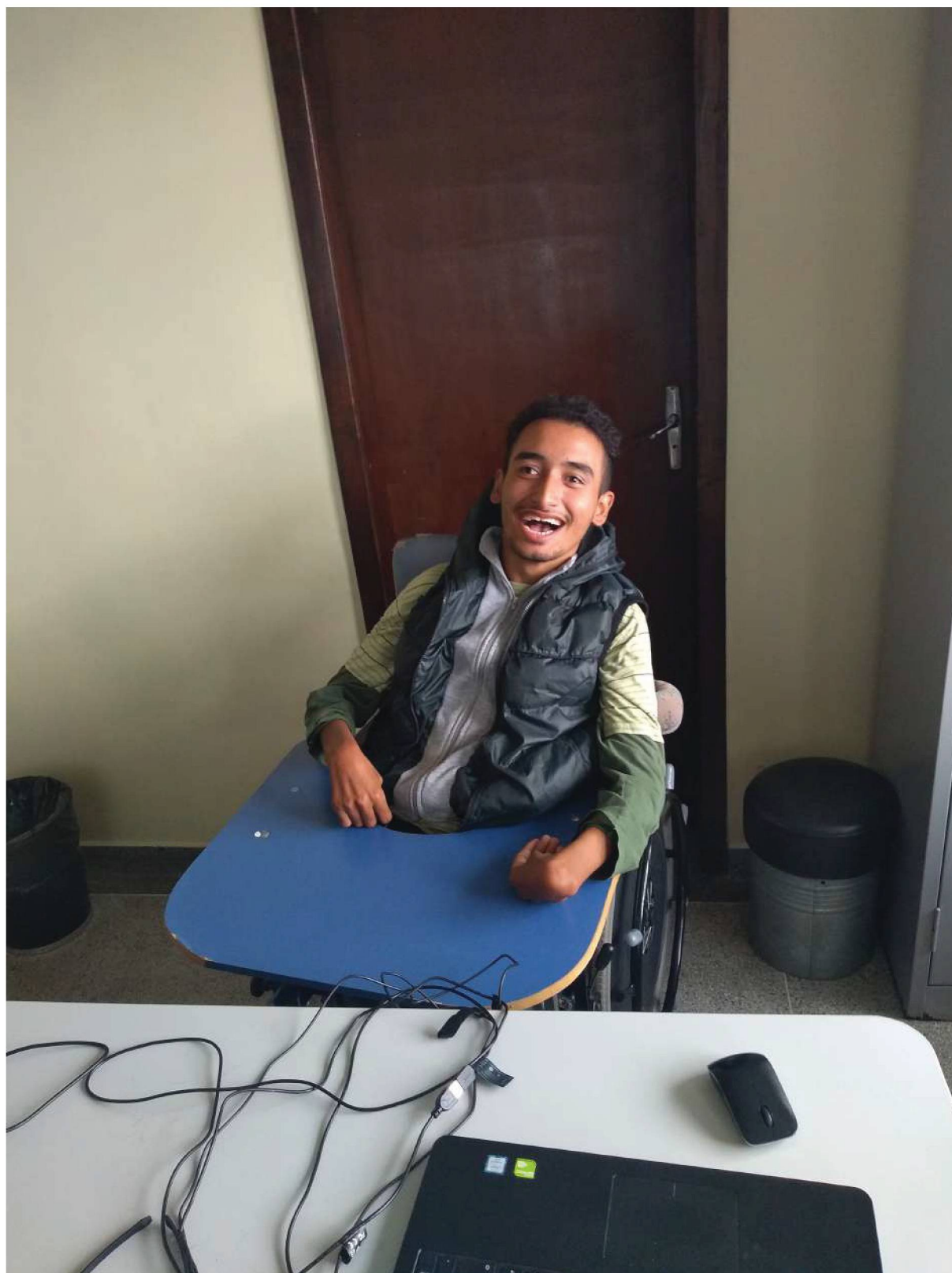


Figura 5.3: Sala cedida pela ONG Pequeno Cotoengo.

A ferramenta computacional e o dispositivo de rastreamento do ocular foram instalados em um Laptop, da marca Dell. O notebook possui 8GM de memória RAM, processador 2.5 GHz Intel Core i7 e câmera Intel® RealSense™ 3D Camera (Front F200). Para uma melhor visualização da ferramenta, um monitor externo de 22 (vinte e duas) polegadas foi utilizado.

Todos estes equipamentos são cedidos pelo Grupo IMAGO de pesquisa, da Universidade Federal do Paraná (UFPR). Os dados foram coletados a partir dos resultados das atividades dos usuários, durante todo o processo de uso da ferramenta computacional.

5.4 Considerações Finais

Neste capítulo descreveu-se a metodologia para realização dos testes para captação e análise dos dados. Os participantes e o local onde o experimento foi realizado também foram descritos.

6 Resultados

Este capítulo descreve os resultados do experimento efetuado nas duas instituições participantes da pesquisa. A Seção 6.1 apresenta os dados coletados durante o teste de adaptação do dispositivo por meio do processo de calibração e tempo gasto por cada participante e na Seção 6.2 apresenta os dados coletados durante os testes e os resultados.

6.1 Dados Coletados

Durante o teste de usabilidade do dispositivo de rastreamento ocular com a interação da aplicação de navegação web foram coletados alguns dados dos participantes como: tempo para concluir o processo de calibração, tempo para concluir a digitação de uma palavra no teclado virtual, e o tempo total na realização de todas as atividades determinadas no início do teste. Assim, podemos avaliar como foi o desempenho de cada participante.

6.1.1 Processo de Calibração

Este teste teve o objetivo de analisar a adaptação e a performance dos participantes no primeiro contato com o dispositivo de rastreamento do olhar. A segunda análise foi referente ao tempo gasto por cada participante, para a realização do processo de calibração.

- Procedimentos para realização do teste:
 - Foi utilizado um notebook Dell para o monitoramento do teste de cada participante.
 - Foi utilizado um monitor de 18 polegadas para a realização do processo de calibração com o dispositivo de rastreamento do olhar.
 - O monitor foi ajustado de acordo com a altura de cada participante, ao sentar na cadeira ou referente à altura da cadeira de roda, conforme apresentado nas Figuras 6.1 e 6.2 . Destacando que o objetivo da calibração é melhorar a precisão da detecção da pupila durante o rastreamento ocular, assim proporcionando um melhor resultado de usabilidade do dispositivo.

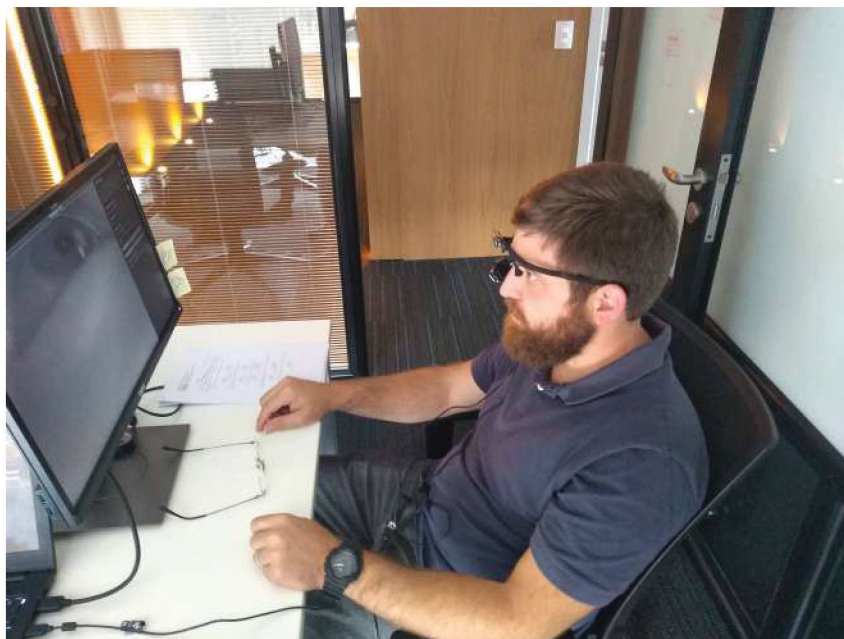


Figura 6.1: Demonstração da posição do monitor durante o teste.



Figura 6.2: Demonstração da posição do notebook durante o teste.

No gráfico apresentado na Figura 6.3 abaixo, está o tempo de cada participante correspondente a realização do processo de calibração. Os participantes 1,2,3 e 4 eram cadeirantes, devido a isso o monitor preciso ser colocado a uma distância de 1,5m. Pois segundo os participantes ao deixar o monitor muito próximo afetava a visibilidade, devido ao nível mais severo da deficiência motora.

Os participantes 5,6,7,8 apresentavam um nível de deficiência motora baixa, permitindo encontrar a melhor maneira de ficar na cadeira, facilitando o ajuste do monitor em uma distância de 75cm.

Os participantes 9,10,11,12,13,14,15,16 não apresentam nenhuma deficiência motora, permitindo que o monitor ficasse em uma distancia de 45 a 65cm.



Figura 6.3: Comparativo dos tempos médios para execução do processo de calibração.

6.1.2 Digitação no teclado virtual

Este teste teve o objetivo de analisar o tempo gasto por cada participante na digitação de uma palavra definida pelo aplicador do teste, por meio do teclado virtual da aplicação web apresentada na Figura 6.4, após o processo de adaptação com o dispositivo de rastreamento ocular.

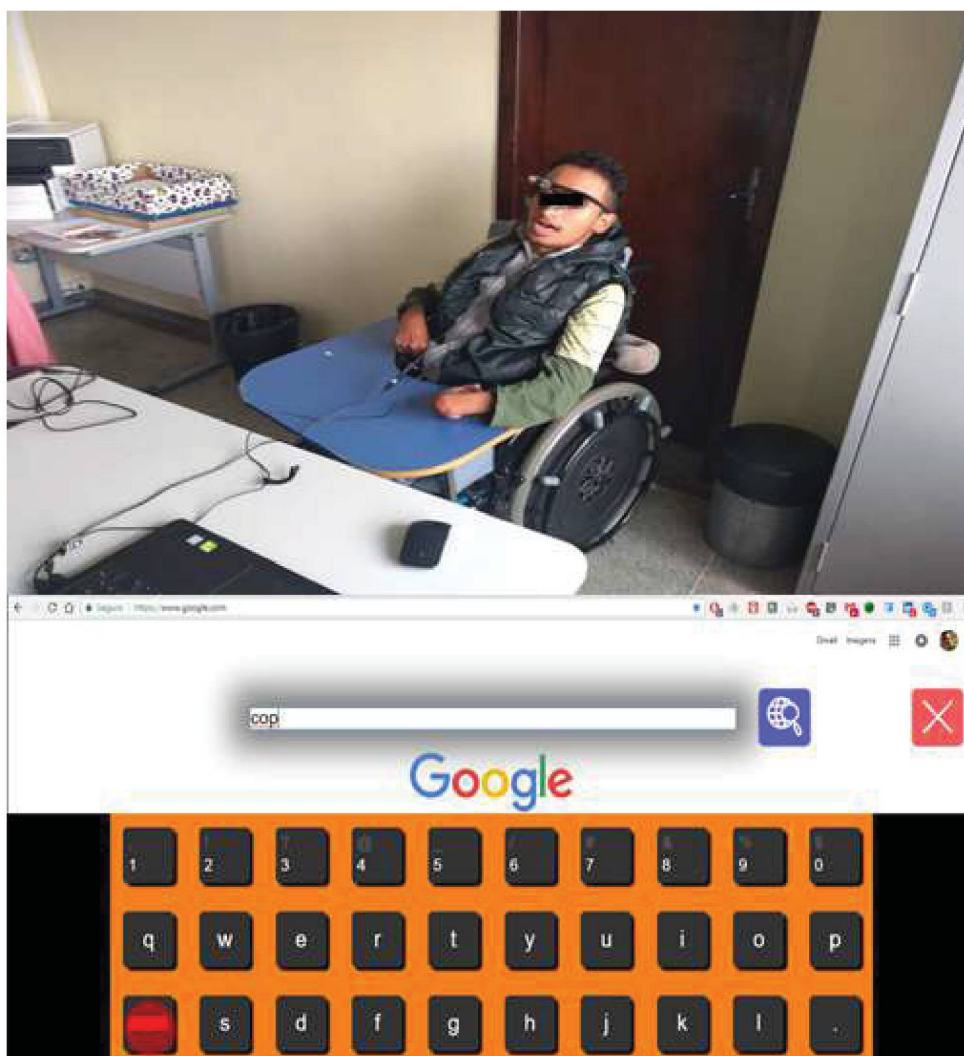


Figura 6.4: Participante digitando no teclado virtual, por meio rastreamento ocular.

No gráfico apresentado na Figura 6.5 abaixo é apresentado somente o tempo de digitação de cada participante, por meio dos movimentos dos olhos. A aplicação web foi configurada com um tempo de latência de 150 ms para a seleção da letra desejada.



Figura 6.5: Comparativo dos tempos médios entre os participantes de digitação no teclado virtual.

Foi observado que alguns participantes apresentaram uma certa preocupação em ocasionar ao dispositivo, devido a sua deficiência motora, assim afetando no tempo de execução da atividade determinada.

6.1.3 Navegação Web

Este teste consistiu em realizar seis tarefas, conforme a lista abaixo as quais contém a ação de proporcionar a navegação pela internet. Todas as tarefas possuíam o mesmo grau de dificuldade. O tempo aproximado de cada teste foi inferior a 4 minutos.

- Acessar um site qualquer
- Marcar uma pagina como favorita
- Deletar a página recém marcada como favorita
- Selecionar uma imagem ou link
- Selecionar a caixa de texto
- Digitar um texto

Após realizar todas as tarefas solicitadas sem pausa, cada participante respondeu o questionário SUS (ANEXO 5). Com relação aos resultados do SUS, a média geral foi 82,34. Os resultados individuais são apresentados no gráfico mostrado na Figura 6.6 abaixo.



Figura 6.6: Resultados do SUS.

6.2 Considerações Finais

Este capítulo apresentou os resultados obtidos com os testes de usabilidade efetuado. Os dezesseis participantes das duas instituições Escola de Educação Básica Vivian Marçal - Modalidade de Educação Especial e a ONG Pequeno Cotelengo Paranaense efetuaram uso do dispositivo de rastreamento ocular, associado a uma aplicação de navegação web. Os dados coletados foram analisados sob três formas: Tempos médios para a realização do processo de calibração, tempo de digitação de palavras no teclado virtual e tempo total para realizar o conjunto de atividades determinadas no início do teste.

7 Discussão

Este capítulo apresenta uma discussão sobre os resultados do experimento de usabilidade efetuado e os dados obtidos a partir do mesmo. São discutidos padrões observados no experimento, bem como pontos positivos e possíveis melhorias a serem efetuadas em versões futuras do dispositivo de rastreamento do ocular e da aplicação web. Este capítulo está dividido da seguinte forma: na Seção 7.1 serão discutidos os dados observacionais de usabilidade obtidos no experimento, enquanto na Seção 7.2 discute-se os resultados obtidos a partir das execuções das atividades propostas para os participantes. Para finalizar, a Seção 7.3 discute os dados obtidos nos formulários SUS, seguida pelas considerações finais na Seção 7.4.

7.1 Dados de usabilidade

Com base nos resultados do experimento de usabilidade e adaptação, observou-se que todos os participantes conseguiram entender a funcionalidade do dispositivo de rastreamento ocular e as atividades propostas para serem executadas por meio da ferramenta computacional. Acredita-se que a interface simples, desde do cadastro dos participantes até o início do teste com a interação do dispositivo desenvolvido, esses foram fatores cruciais para facilitar o entendimento das atividades pelos usuários. Sobre as funcionalidades da ferramenta e do dispositivo, observou-se uma fácil adaptação dos participantes, desde do processo de calibração até a navegação web por meio da aplicação.

Observou-se no processo de calibração que deve como objetivo inicial proporcionar a adaptação do participante com o dispositivo, uma falta de ajuste em determinados rostos, devido à variedade de tamanhos. Para contornar este problema, recomenda-se a elaboração de modelos de dispositivos menores, dessa forma facilitando o ajuste em rostos pequenos.

Outro ponto observado no experimento de usabilidade foi a falta de interesse em 2 participantes após certo tempo de uso do dispositivo e da ferramenta. Como melhoria neste ponto, sugere-se que a inclusão de um ambiente virtual que represente um lugar familiar, com o objetivo de motivar os participantes no uso do dispositivo de rastreamento ocular e da ferramenta, para o reconhecimento daquele lugar virtual.

7.2 Dados de execução das atividades

Avaliando os dados referente à execução das atividades pelos participantes, percebe-se que o dispositivo de rastreamento ocular e da ferramenta foi eficaz na captura dos dados propostos.

Analisando os dados coletados do processo de calibração, obteve-se um resultado satisfatório, onde a precisão do rastreamento ocular ficou entre 0.5 a 1.0 graus, informado pela plataforma *Open Source Pupil Labs*. Destacando que os dispositivos de *Eye Trackers* comerciais,

apresenta na Figura 7.1 possui os mesmos graus de precisão, utilizando câmeras com altas frequências para a capturas das imagens durante o rastreamento.



Figura 7.1: Exemplo: Mobile Eye Tracking Glasses da empresa Tobii <https://www.tobiipro.com/product-listing/tobii-pro-glasses-2/>.

7.3 Formulários SUS

Observando os resultados obtidos pelo formulários SUS, percebe-se que a performance dos participantes com deficiência motora e sem eficiência utilizando o dispositivo de rastreamento ocular e a ferramenta foi satisfatório para a maior parte dos usuários. Contudo, observou-se que a performance na execução das atividades propostas durante a navegação web por alguns participantes foram baixas.

Esse problema de performance pode estar relacionado a alguns fatores, como a preocupação de danificar o dispositivo durante a realização do teste, devido a flexibilidade da estrutura. Como sugestão de melhoria da performance na utilização do dispositivo e da ferramenta, sugere-se a inclusão de vídeos que mostram a qualidade e segurança do dispositivo em determinadas situações do dia a dia.

Quanto aos equipamentos utilizados, o questionário SUS revelou que os participantes não apresentaram problemas na utilização do dispositivo. De qualquer forma, deve-se ressaltar que todos os participantes do estudo são alfabetizados e habilidades cognitivas normais.

Como futura expansão, aponta-se para a utilização do dispositivo de rastreamento ocular de baixo custo, buscando verificar em quais aplicações e dispositivos móveis que a interação com os movimentos do olhar pode substituir a utilização das mãos.

7.4 Considerações Finais

Este capítulo apresentou uma discussão dos resultados obtidos com o experimento de usabilidade efetuado. Foram discutidos pontos positivos e negativos do dispositivo de rastreamento ocular desenvolvido e da interação com a ferramenta desenvolvida, bem como melhorias futuras no dispositivo e na ferramenta.

8 Conclusão

Este trabalho apresentou um dispositivo de rastreamento ocular de baixo custo feito com impressão 3D para a navegação web por meio da interação com uma ferramenta computacional. Os usuários em potencial deste sistema são indivíduos com deficiências motoras graves e médias, que desejam adquirir autonomia na execução de determinadas tarefas. Com o movimento dos olhos, os usuários podem navegar pela internet com facilidade.

O sinal biológico utilizado foi o VOG, isso possibilitou a interação do dispositivo de rastreamento ocular com a ferramenta empregando os movimentos dos olhos e o rastreamento das fixações do olhar para execução das atividades determinadas. Um diferencial importante deste trabalho é a utilização de componentes eletrônicos de baixo custo, fácil manuseio e de rápida configuração.

O dispositivo de rastreamento ocular desenvolvido para a interação com a ferramenta se baseou no conceito de comunicação aumentativa e alternativa, onde foi avaliado considerando a usabilidade e desempenho do ponto de vista do participante. Avaliações de usabilidade de dispositivos de tecnologia assistiva e de desempenho com o uso são de extrema importância, visando principalmente reduzir os altos índices de abandono dessas tecnologias, pois a implementação de dispositivos de alta tecnologia pode acarretar em barreiras ou facilitadores que vão influenciar o uso.

Ressalta-se que a média dos resultados obtidos com a aplicação da escala de usabilidade SUS para os sistemas propostos indicam suas excelentes usabilidades, pois os produtos avaliados na faixa dos 90 pontos são considerados excepcionais, produtos avaliados na faixa dos 80 pontos são bons e produtos avaliados na faixa dos 70 pontos são aceitáveis. Considerando somente a média das avaliações das pessoas com deficiência, isto é, quem realmente poderá usar o sistema, o resultado ainda classifica o sistema como excelente ou bom.

Destacando que na literatura aponta altos índices de abandono de dispositivos de tecnologia assistiva [13], por isso, as avaliações de usabilidade realizadas neste trabalho são de extrema importância, pois indicam que os usuários realmente estão dispostos a utilizar o sistema desenvolvido.

Referências

- [1] Kenneth Alberto Funes Mora and Jean-Marc Odobez. Geometric generative gaze estimation (g3e) for remote rgb-d cameras. In *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, pages 1773–1780, 2014.
- [2] Autodesk. Autodesk maya. <https://www.autodesk.com.br/products/maya/free-trial>, 2018. Acessado em 15/01/2018.
- [3] David Beukelman and Pat Mirenda. *Augmentative and alternative communication*. 2005.
- [4] Samit Bhattacharya, Debasis Samanta, and Anupam Basu. Performance models for automatic evaluation of virtual scanning keyboards. *IEEE Transactions on neural systems and rehabilitation engineering*, 16(5):510–519, 2008.
- [5] A. L. C. Bissoli. Solução multimodal para interação com dispositivos de assistência e comunicação. dissertação de mestrado <http://www.ele.ufes.br/pos-graduacao/PPGEE/detalhes-da-tese?id=10127>, Universidade Federal do Espírito Santo - UFES, 2016.
- [6] Tanja Blascheck, Kuno Kurzhals, Michael Raschke, Michael Burch, Daniel Weiskopf, and Thomas Ertl. State-of-the-art of visualization for eye tracking data. In *Proceedings of EuroVis*, volume 2014, 2014.
- [7] John Brooke. Sus: a retrospective. *Journal of usability studies*, 8(2):29–40, 2013.
- [8] John Brooke et al. Sus-a quick and dirty usability scale. *Usability evaluation in industry*, 189(194):4–7, 1996.
- [9] Andreas Bulling, Jamie A Ward, Hans Gellersen, and Gerhard Troster. Eye movement analysis for activity recognition using electrooculography. *IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence*, 33(4):741–753, 2011.
- [10] John Canny. A computational approach to edge detection. *IEEE Transactions on pattern analysis and machine intelligence*, (6):679–698, 1986.
- [11] Meredith A Case, Holland A Burwick, Kevin G Volpp, and Mitesh S Patel. Accuracy of smartphone applications and wearable devices for tracking physical activity data. *Jama*, 313(6):625–626, 2015.
- [12] F. H. G. Cesar. Aquisição e processamento de sinais de rastreamento ocular em jogadas de xadrez. dissertação de mestrado http://https://fei.edu.br/~cet/dissertacao_HenriqueCesar_2016.pdf, Centro Universitário - FEI, 2016.
- [13] Yao-Jen Chang, Shu-Fang Chen, and Jun-Da Huang. A kinect-based system for physical rehabilitation: A pilot study for young adults with motor disabilities. *Research in developmental disabilities*, 32(6):2566–2570, 2011.

- [14] Raymond Dodge and Thomas Sparks Cline. The angle velocity of eye movements. *Psychological Review*, 8(2):145, 1901.
- [15] Andrew T Duchowski. A breadth-first survey of eye-tracking applications. *Behavior Research Methods, Instruments, & Computers*, 34(4):455–470, 2002.
- [16] Andrew T Duchowski. Eye tracking methodology. *Theory and practice*, 328, 2007.
- [17] Andrew T Duchowski. Gaze-based interaction: A 30 year retrospective. *Computers & Graphics*, 73:59–69, 2018.
- [18] Andrew T Duchowski, Krzysztof Krejtz, Izabela Krejtz, Cezary Biele, Anna Niedzielska, Peter Kiefer, Martin Raubal, and Ioannis Giannopoulos. The index of pupillary activity: Measuring cognitive load vis-à-vis task difficulty with pupil oscillation. In *Proceedings of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, page 282. ACM, 2018.
- [19] Wolfgang Fuhl, Thomas Kübler, Katrin Sippel, Wolfgang Rosenstiel, and Enkelejda Kasneci. Excuse: Robust pupil detection in real-world scenarios. In *International Conference on Computer Analysis of Images and Patterns*, pages 39–51. Springer, 2015.
- [20] Wolfgang Fuhl, Marc Tonsen, Andreas Bulling, and Enkelejda Kasneci. Pupil detection for head-mounted eye tracking in the wild: an evaluation of the state of the art. *Machine Vision and Applications*, 27(8):1275–1288, 2016.
- [21] Dan Witzner Hansen, John Paulin Hansen, Mads Nielsen, Anders Sewerin Johansen, and Mikkel B Stegmann. Eye typing using markov and active appearance models. In *Applications of Computer Vision, 2002.(WACV 2002). Proceedings. Sixth IEEE Workshop on*, pages 132–136. IEEE, 2002.
- [22] Dan Witzner Hansen and Qiang Ji. In the eye of the beholder: A survey of models for eyes and gaze. *IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence*, 32(3):478–500, 2010.
- [23] Kenneth Holmqvist, Marcus Nyström, Richard Andersson, Richard Dewhurst, Halszka Jarodzka, and Joost Van de Weijer. *Eye tracking: A comprehensive guide to methods and measures*. OUP Oxford, 2011.
- [24] Takahiro Ishikawa. Passive driver gaze tracking with active appearance models. 2004.
- [25] Robert JK Jacob and Keith S Karn. Eye tracking in human-computer interaction and usability research: Ready to deliver the promises. In *The mind's eye*, pages 573–605. Elsevier, 2003.
- [26] Amir-Homayoun Javadi, Zahra Hakimi, Morteza Barati, Vincent Walsh, and Lili Tcheang. Set: a pupil detection method using sinusoidal approximation. *Frontiers in neuroengineering*, 8, 2015.
- [27] JetBrains. Webstorm. <https://www.jetbrains.com/webstorm/>, 2017. Acessado em 5/11/2017.
- [28] Li Jianfeng and Li Shigang. Eye-model-based gaze estimation by rgb-d camera. In *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops*, pages 592–596, 2014.

- [29] Moritz Kassner, William Patera, and Andreas Bulling. Pupil: an open source platform for pervasive eye tracking and mobile gaze-based interaction. In *Proceedings of the 2014 ACM international joint conference on pervasive and ubiquitous computing: Adjunct publication*, pages 1151–1160. ACM, 2014.
- [30] Peter Kiefer, Ioannis Giannopoulos, Andrew Duchowski, and Martin Raubal. Measuring cognitive load for map tasks through pupil diameter. In *International Conference on Geographic Information Science*, pages 323–337. Springer, 2016.
- [31] Elizabeth S Kim, Adam Naples, Giuliana Vaccarino Gearty, Quan Wang, Seth Wallace, Carla Wall, Michael Perlmutter, Jennifer Kowitt, Linda Friedlaender, Brian Reichow, et al. Development of an untethered, mobile, low-cost head-mounted eye tracker. In *Proceedings of the Symposium on Eye Tracking Research and Applications*, pages 247–250. ACM, 2014.
- [32] Andrew T. N. Kurauchi, Wenxin Feng, Ajjen Joshi, Carlos H. Morimoto, and Margrit Betke. Eyeswipe: Dwell-free text entry using gaze paths. In *Proceedings of the 2016 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '16, pages 1952–1956, New York, NY, USA, 2016. ACM.
- [33] Kuno Kurzhals, Marcel Hlawatsch, Christof Seeger, and Daniel Weiskopf. Visual analytics for mobile eye tracking. *IEEE transactions on visualization and computer graphics*, 23(1):301–310, 2017.
- [34] Dongheng Li, Jason Babcock, and Derrick J Parkhurst. openeyes: a low-cost head-mounted eye-tracking solution. In *Proceedings of the 2006 symposium on Eye tracking research & applications*, pages 95–100. ACM, 2006.
- [35] Dongheng Li, David Winfield, and Derrick J Parkhurst. Starburst: A hybrid algorithm for video-based eye tracking combining feature-based and model-based approaches. In *Computer Vision and Pattern Recognition-Workshops, 2005. CVPR Workshops. IEEE Computer Society Conference on*, pages 79–79. IEEE, 2005.
- [36] Tianye Li, Timo Bolkart, Michael J Black, Hao Li, and Javier Romero. Learning a model of facial shape and expression from 4d scans. *ACM Transactions on Graphics (TOG)*, 36(6):194, 2017.
- [37] Päivi Majaranta, Ulla-Kaija Ahola, and Oleg Špakov. Fast gaze typing with an adjustable dwell time. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pages 357–360. ACM, 2009.
- [38] Päivi Majaranta and Kari-Jouko Räihä. Text entry by gaze: Utilizing eye-tracking. *Text entry systems: Mobility, accessibility, universality*, pages 175–187, 2007.
- [39] Kenneth Alberto Funes Mora and Jean-Marc Odobez. Gaze estimation from multimodal kinect data. In *Computer Vision and Pattern Recognition Workshops (CVPRW), 2012 IEEE Computer Society Conference on*, pages 25–30. IEEE, 2012.
- [40] Kenneth Alberto Funes Mora and Jean-Marc Odobez. Person independent 3d gaze estimation from remote rgb-d cameras. In *Image Processing (ICIP), 2013 20th IEEE International Conference on*, pages 2787–2791. IEEE, 2013.
- [41] Carlos H Morimoto and Marcio RM Mimica. Eye gaze tracking techniques for interactive applications. *Computer vision and image understanding*, 98(1):4–24, 2005.

- [42] Jakob Nielsen. Evaluating hypertext usability. In *Designing hypermedia for learning*, pages 147–168. Springer, 1990.
- [43] Jakob Nielsen. *Usability engineering*. Elsevier, 1994.
- [44] Jakob Nielsen and BIRGIT NIELSEN. *Multimedia and hypertext: The Internet and beyond*. Morgan Kaufmann, 1995.
- [45] LW Pedretti and MB Early. Desempenho ocupacional e modelos de prática para disfunção física. *Pedretti LW, Early MB. Terapia ocupacional: capacidades práticas para disfunções físicas. Trad. Lúcia Speed Ferreira de Melo, Cláudio A. Rocha. São Paulo: Roca*, pages 3–13, 2004.
- [46] Thiago Pradi. Ferramenta computacional para treinamento no reconhecimento e produção de expressões faciais por autistas. dissertação de mestrado
<http://calvados.c3sl.ufpr.br/handle/1884/45110>.
- [47] Yvonne Rogers, Helen Sharp, and Jenny Preece. *Interaction design: beyond human-computer interaction*. John Wiley & Sons, 2011.
- [48] B Shackel. Usability-context, framework, design, and evaluation. *Human Factors in Computing Systems, Cambridge: Cambridge University Press*, 1991.
- [49] Tom De Smedt and Walter Daelemans. Pattern for python. *Journal of Machine Learning Research*, 13(Jun):2063–2067, 2012.
- [50] Donghee Son, Jongha Lee, Shutao Qiao, Roozbeh Ghaffari, Jaemin Kim, Ji Eun Lee, Changyeong Song, Seok Joo Kim, Dong Jun Lee, Samuel Woojoo Jun, et al. Multifunctional wearable devices for diagnosis and therapy of movement disorders. *Nature nanotechnology*, 9(5):397, 2014.
- [51] Yusuke Sugano, Yasuyuki Matsushita, and Yoichi Sato. Learning-by-synthesis for appearance-based 3d gaze estimation. In *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, pages 1821–1828, 2014.
- [52] Lech Świrski, Andreas Bulling, and Neil Dodgson. Robust real-time pupil tracking in highly off-axis images. In *Proceedings of the Symposium on Eye Tracking Research and Applications*, pages 173–176. ACM, 2012.
- [53] Antonio Diaz Tula and Carlos H. Morimoto. Augkey: Increasing foveal throughput in eye typing with augmented keys. In *Proceedings of the 2016 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '16, pages 3533–3544, New York, NY, USA, 2016. ACM.
- [54] Roberto Valenti and Theo Gevers. Accurate eye center location and tracking using isophote curvature. In *Computer Vision and Pattern Recognition, 2008. CVPR 2008. IEEE Conference on*, pages 1–8. IEEE, 2008.
- [55] Roberto Valenti and Theo Gevers. Accurate eye center location through invariant isocentric patterns. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 34(9):1785–1798, 2012.

- [56] Dong Wang, Fiona B Mulvey, Jeff B Pelz, and Kenneth Holmqvist. A study of artificial eyes for the measurement of precision in eye-trackers. *Behavior research methods*, 49(3):947–959, 2017.
- [57] Erroll Wood, Tadas Baltrušaitis, Louis-Philippe Morency, Peter Robinson, and Andreas Bulling. A 3d morphable eye region model for gaze estimation. In *European Conference on Computer Vision*, pages 297–313. Springer, 2016.
- [58] Erroll Wood, Tadas Baltrušaitis, Louis-Philippe Morency, Peter Robinson, and Andreas Bulling. Learning an appearance-based gaze estimator from one million synthesised images. In *Proceedings of the Ninth Biennial ACM Symposium on Eye Tracking Research & Applications*, pages 131–138. ACM, 2016.
- [59] Erroll Wood, Tadas Baltrušaitis, Xucong Zhang, Yusuke Sugano, Peter Robinson, and Andreas Bulling. Rendering of eyes for eye-shape registration and gaze estimation. In *Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision*, pages 3756–3764, 2015.
- [60] Xucong Zhang, Yusuke Sugano, Mario Fritz, and Andreas Bulling. Appearance-based gaze estimation in the wild. In *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, pages 4511–4520, 2015.

Apêndice A: Anexos

A.1 Comprovante do Envio do Projeto

UFPR - SETOR DE CIÊNCIAS DA SAÚDE DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ -		
COMPROVANTE DE ENVIO DO PROJETO		
DADOS DO PROJETO DE PESQUISA		
Título da Pesquisa:	Head mounted eye tracking assistive technology	
Pesquisador:	Luciano Silva	
Versão:	1	
CAAE:	81351217.7.0000.0102	
Instituição Proponente:	Programa de Pós-Graduação em Informática/UFPR	
DADOS DO COMPROVANTE		
Número do Comprovante:	150414/2017	
Patrocinador Principal:	Financiamento Próprio	

Informamos que o projeto Head mounted eye tracking assistive technology que tem como pesquisador responsável Luciano Silva, foi recebido para análise ética no CEP UFPR - Setor de Ciências da Saúde da Universidade Federal do Paraná - SCS/UFPR em 20/12/2017 às 12:17.

Figura A.1: Comprovante de Recepção.

A.2 Lista de tarefas

Tarefas a serem realizadas	
#	
1	Acessar um site qualquer
2	Marcar uma página como favorita
3	Deletar a página recém marcada como favorita
4	Selecionar uma imagem ou link
5	Selecionar a caixa de texto
6	Digitar um texto

Tempo
00:00:00:00

INICIAR

Figura A.2: Lista de tarefas

A.3 Termo de consentimento - ONG Pequeno Cotelengo Paranaense

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO - TCLE

Nós, Fernando Eduardo da Silva e Luciano Silva, pesquisadores da Universidade Federal do Paraná, estamos convidando o senhor, cuidador ou professor do aluno matriculado na ONG Pequeno Cotelengo Paranaense de Curitiba, e com diagnóstico de deficiência motora severa a participar de um estudo intitulado Head mounted eye tracking assistive technology.

1. Objetivo dessa pesquisa é desenvolver uma ferramenta computacional que visa auxiliar a navegação web de indivíduos com deficiência motora severa, promovendo a habilidade e o conhecimento de navegar pela web, proporcionando a inclusão social dos deficientes motores no mundo digital. Tal projeto consiste em uma interface web de navegação por meio do rastreamento ocular feito por um dispositivo de Eye Tracker proporcionado a interação no mundo digital, desconhecida por esses indivíduos devido a deficiência motora severa. Pretende-se avaliar a usabilidade dentro do contexto de tecnologia assistiva e comunicação aumentativa e alternativa (CAA)
2. Caso você autorize o jovem ou adulto sob sua responsabilidade a participar da pesquisa, será necessário que o jovem ou adulto sob sua responsabilidade com diagnóstico de deficiência motora severa participe de uma sessão de no máximo 30 minutos, em que irá operar a citada ferramenta computacional. O responsável legal pelo jovem ou adulto deverá participar de toda a sessão.

- Durante a operação da ferramenta, serão coletados dados do jovem ou adulto participante ao utilizar a ferramenta.
 - Os dois tipos de dados coletados serão: a) vídeo do participante ao utilizar a ferramenta; b) registro das interações do usuário com a interface de navegação web por meio do rastreamento ocular;
 - Estes dados serão utilizados somente para comprovar que as funcionalidades implementadas na ferramenta estão funcionando corretamente, sendo descartados após o término da pesquisa.
3. Para tanto você e o jovem ou adulto sob sua responsabilidade deverá dispor de cerca de 01 hora além do utilizado na consulta habitual do jovem ou adulto sob sua responsabilidade. O experimento poderá ser realizado no dia da consulta com a terapeuta ocupacional sob sua responsabilidade.
 4. É possível que a criança experimente algum desconforto, principalmente relacionado ao cansaço no uso do dispositivo.
 5. Existe também risco de constrangimento ao responder ao formulário de pré-entrevista.
 6. Os benefícios esperados com essa pesquisa é proporcionar ao indivíduo a habilidade de navegar pela web e a inclusão no mundo digital sob sua responsabilidade. Nem sempre o jovem ou adulto sob sua responsabilidade será diretamente beneficiada com o resultado do experimento, mas poderá contribuir para o avanço científico e aperfeiçoamento da ferramenta computacional.
 7. O pesquisador Luciano Silva, responsável por este estudo, poderá ser contatado para esclarecer eventuais dúvidas que você possa ter e fornecer-lhe informações sobre o estudo. O pesquisador pode ser encontrado no seguinte endereço: Rua: Av. Coronel Francisco Heráclito dos Santos, 210 Complemento: Departamento de Informática, Campus II - Centro Politécnico, Bairro: Jardim das Américas, Cidade: Curitiba - PR. Pode ser contatado via telefone, no número (41) 3361-3684, entre as 09h as 17h.
 8. A participação da criança sob sua responsabilidade neste estudo é voluntária e se você não quiser mais fazer parte da pesquisa poderá desistir a qualquer momento e solicitar que lhe devolvam este Termo de Consentimento Livre e Esclarecido assinado.
 9. As informações relacionadas ao estudo poderão ser conhecidas por pessoas autorizadas: Fernando Eduardo da Silva, coparticipantes no estudo. No entanto, se qualquer informação for divulgada em relatório ou publicação, isto será feito sob forma codificada, para que as identidades sejam preservadas e mantida a confidencialidade.
 10. O material obtido – questionários, imagens e vídeos – será utilizado unicamente para essa pesquisa e será arquivado ao término do estudo, dentro de três meses.
 11. Despesas necessárias para a realização da pesquisa não são de sua responsabilidade e o senhor não receberá qualquer valor em dinheiro pela sua participação.
 12. Quando os resultados forem publicados, não aparecerá o nome do jovem ou adulto sob sua responsabilidade, e sim um código.

13. Ao aceitar a participação neste estudo, será solicitado a permissão ao prontuário médico do jovem ou adulto sob sua responsabilidade, com o objetivo de verificar o diagnóstico de deficiência motora severa. O prontuário será verificado e devolvido ONG Pequeno Cotolengo Paranaense de Curitiba
14. Se você tiver dúvidas sobre seus direitos como participante de pesquisa, você pode contatar também o Comitê de Ética em Pesquisa em Seres Humanos (CEP/SD) do Setor de Ciências da Saúde da Universidade Federal do Paraná, pelo telefone 3360-7259.
15. Caso você deseje entrar em contato diretamente com os pesquisadores, eles podem ser encontrados seguinte endereço: Av. Coronel Francisco Heráclito dos Santos, 210 Complemento: Departamento de Informática, Campus II - Centro Politécnico - UFPR, Bairro: Jardim das Américas, Cidade: Curitiba - PR. Podem ser contatados via telefone, no número (41) 3361-3684, entre as 09h as 17h.

Eu, _____ li esse Termo de Consentimento e compreendi a natureza e objetivo do estudo do qual autorizei meu filho(a) a participar. A explicação que recebi menciona os riscos e benefícios para meu filho(a). Eu entendi que sou livre para interromper a participação do meu filho(a) a qualquer momento, sem justificar minha decisão e sem qualquer prejuízo para o mesmo. Eu concordo voluntariamente de que meu filho(a) participará deste estudo.

Curitiba, ____ de ____ de ____ .

Assinatura do Participante de Pesquisa ou Responsável Legal.

Assinatura do Pesquisador Responsável ou quem aplicou o TCLE.

A.4 Termo de consentimento - Escola Educação Básica Vivian Marçal - Modalidade de Educação Especial

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO - TCLE

Nós, Fernando Eduardo da Silva e Luciano Silva, pesquisadores da Universidade Federal do Paraná, estamos convidando o senhor, cuidador ou professor do aluno matriculado na Escola Educação Básica Vivian Marçal - Modalidade de Educação Especial de Curitiba, e com diagnóstico de deficiência motora severa a participar de um estudo intitulado Head mounted eye tracking assistive technology.

1. Objetivo dessa pesquisa é desenvolver uma ferramenta computacional que visa auxiliar a navegação web de indivíduos com deficiência motora severa, promovendo a habilidade e o conhecimento de navegar pela web, proporcionando a inclusão social dos deficientes motores no mundo digital. Tal projeto consiste em uma interface web de navegação por meio do rastreamento ocular feito por um dispositivo de Eye Tracker proporcionado a interação no mundo digital, desconhecida por esses indivíduos devido a deficiência motora severa. Pretende-se avaliar a usabilidade dentro do contexto de tecnologia assistiva e comunicação aumentativa e alternativa (CAA)
2. Caso você autorize o jovem ou adulto sob sua responsabilidade a participar da pesquisa, será necessário que o jovem ou adulto sob sua responsabilidade com diagnóstico de deficiência motora severa participe de uma sessão de no máximo 30 minutos, em que irá operar a citada ferramenta computacional. O responsável legal pelo jovem ou adulto deverá participar de toda a sessão.
 - Durante a operação da ferramenta, serão coletados dados do jovem ou adulto participante ao utilizar a ferramenta.
 - Os dois tipos de dados coletados serão: a) vídeo do participante ao utilizar a ferramenta; b) registro das interações do usuário com a interface de navegação web por meio do rastreamento ocular;
 - Estes dados serão utilizados somente para comprovar que as funcionalidades implementadas na ferramenta estão funcionando corretamente, sendo descartados após o término da pesquisa.
3. Para tanto você e o jovem ou adulto sob sua responsabilidade deverá dispor de cerca de 01 hora além do utilizado na consulta habitual do jovem ou adulto sob sua responsabilidade. O experimento poderá ser realizado no dia da consulta com a terapeuta ocupacional sob sua responsabilidade.
4. É possível que a criança experimente algum desconforto, principalmente relacionado ao cansaço no uso do dispositivo.
5. Existe também risco de constrangimento ao responder ao formulário de pré-entrevista.
6. Os benefícios esperados com essa pesquisa é proporcionar ao indivíduo a habilidade de navegar pela web e a inclusão no mundo digital sob sua responsabilidade. Nem sempre o jovem ou adulto sob sua responsabilidade será diretamente beneficiada com o resultado do experimento, mas poderá contribuir para o avanço científico e aperfeiçoamento da ferramenta computacional.

7. O pesquisador Luciano Silva, responsável por este estudo, poderá ser contatado para esclarecer eventuais dúvidas que você possa ter e fornecer-lhe informações sobre o estudo. O pesquisador pode ser encontrado no seguinte endereço: Rua: Av. Coronel Francisco Heráclito dos Santos, 210 Complemento: Departamento de Informática, Campus II - Centro Politécnico, Bairro: Jardim das Américas, Cidade: Curitiba - PR. Pode ser contatado via telefone, no número (41) 3361-3684, entre as 09h as 17h.
8. A participação da criança sob sua responsabilidade neste estudo é voluntária e se você não quiser mais fazer parte da pesquisa poderá desistir a qualquer momento e solicitar que lhe devolvam este Termo de Consentimento Livre e Esclarecido assinado.
9. As informações relacionadas ao estudo poderão ser conhecidas por pessoas autorizadas: Fernando Eduardo da Silva, coparticipantes no estudo. No entanto, se qualquer informação for divulgada em relatório ou publicação, isto será feito sob forma codificada, para que as identidades sejam preservadas e mantida a confidencialidade.
10. O material obtido – questionários, imagens e vídeos – será utilizado unicamente para essa pesquisa e será arquivado ao término do estudo, dentro de três meses.
11. Despesas necessárias para a realização da pesquisa não são de sua responsabilidade e o senhor não receberá qualquer valor em dinheiro pela sua participação.
12. Quando os resultados forem publicados, não aparecerá o nome do jovem ou adulto sob sua responsabilidade, e sim um código.
13. Ao aceitar a participação neste estudo, será solicitado a permissão ao prontuário médico do jovem ou adulto sob sua responsabilidade, com o objetivo de verificar o diagnóstico de deficiência motora severa. O prontuário será verificado e devolvido a Escola Educação Básica Vivian Marçal - Modalidade de Educação Especial de Curitiba.
14. Se você tiver dúvidas sobre seus direitos como participante de pesquisa, você pode contatar também o Comitê de Ética em Pesquisa em Seres Humanos (CEP/SD) do Setor de Ciências da Saúde da Universidade Federal do Paraná, pelo telefone 3360-7259.
15. Caso você deseje entrar em contato diretamente com os pesquisadores, eles podem ser encontrados seguinte endereço: Av. Coronel Francisco Heráclito dos Santos, 210 Complemento: Departamento de Informática, Campus II - Centro Politécnico - UFPR, Bairro: Jardim das Américas, Cidade: Curitiba - PR. Podem ser contatados via telefone, no número (41) 3361-3684, entre as 09h as 17h.

Eu, _____ li esse Termo de Consentimento e compreendi a natureza e objetivo do estudo do qual autorizei meu filho(a) a participar. A explicação que recebi menciona os riscos e benefícios para meu filho(a). Eu entendi que sou livre para interromper a participação do meu filho(a) a qualquer momento, sem justificar minha decisão e sem qualquer prejuízo para o mesmo. Eu concordo voluntariamente de que meu filho(a) participará deste estudo.

Curitiba, ____ de ____ de ____ .

Assinatura do Participante de Pesquisa ou Responsável Legal.

Assinatura do Pesquisador Responsável ou quem aplicou o TCLE.

A.5 Questionário : Escala de Usabilidade de Sistema(System Usability - SUS adaptado



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS EXATAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM INFORMÁTICA
MESTRADO EM INFORMÁTICA

Curitiba, 18 de setembro de 2018.

Nome do Participante: _____

ESCALA DE USABILIDADE DE SISTEMA (System Usability Scale – SUS, adaptado)

O questionário deve ser respondido baseando-se nas tarefas realizadas usando o Dispositivo de Rastreamento do olhar.

1. Eu acho que eu gostaria de usar este dispositivo de rastreamento do olhar com frequência.

Discordo Fortemente		Concordo Fortemente		
1	2	3	4	5

2. Eu acho o dispositivo de rastreamento do olhar desnecessariamente complexo.

Discordo Fortemente		Concordo Fortemente		
1	2	3	4	5

3. Eu penso que o dispositivo de rastreamento do olhar foi fácil de usar.

Discordo Fortemente		Concordo Fortemente		
1	2	3	4	5

4. Eu acho que seria necessário o apoio de uma pessoa técnica para ser capaz de usar este dispositivo de rastreamento do olhar.

Discordo Fortemente		Concordo Fortemente		
1	2	3	4	5

5. Eu achei que as diversas funções deste dispositivo de rastreamento do olhar foram bem integradas.

Discordo Fortemente		Concordo Fortemente		
1	2	3	4	5

Figura A.3: Questionaria de Usabilidade - SUS.



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS EXATAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM INFORMÁTICA
MESTRADO EM INFORMÁTICA

6. Eu penso que existem muitas inconsistências no dispositivo de rastreamento do olhar.

Discordo Fortemente			Concordo Fortemente	
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1	2	3	4	5

7. Eu imagino que a maioria das pessoas iria aprender a usar este dispositivo de rastreamento do olhar muito rapidamente.

Discordo Fortemente			Concordo Fortemente	
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1	2	3	4	5

8. Eu achei o dispositivo de rastreamento do olhar muito complicado de usar.

Discordo Fortemente			Concordo Fortemente	
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1	2	3	4	5

9. Eu me senti muito confiante com o dispositivo de rastreamento do olhar.

Discordo Fortemente			Concordo Fortemente	
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1	2	3	4	5

10. Eu precisava aprender um monte de coisas antes que eu pudesse ir embora com este dispositivo de rastreamento do olhar.

Discordo Fortemente			Concordo Fortemente	
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1	2	3	4	5

Figura A.4: Questionaria de Usabilidade - SUS.

A.6 Listagem de software

- Software de modelagem - Autodesk Maya
- Idea de desenvolvimento web - WebStorm
- Rastreamento do olhar - Plataforma Open Source Pupil Labs
- Software de extração de dados - Pupil Player